Google

This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter http://books.google.com durchsuchen.

Phys. Phys 226.13

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY

GRUNDZÜGE

DER

EXPERIMENTALPHYSIK

MIT RÜCKSICHT AUF CHEMIE UND PHARMACIE,

ZUM GEBRAUCHE

BEI

VORLESUNGEN UND ZUM SELBSTUNTERRICHTE,

VON

Heinrich

Dr. H. BUFF,

PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT ZU GIESSEN.

MIT ZAHLREICHEN HOLZSCHNITTEN UND AUSGEFÜHRTEN TAFELN.

HEIDELBERG 1853.

AKADEM. VERLAGSHANDLUNG VON C. F. WINTER.

Phys 226.13
1890, June 25.
Gray Fund.
$2.07

1353.
116

Druck von H. L. Brönner in Frankfurt a. M.

Vorrede.

Ungeachtet wir in deutscher Sprache eine ziemlich grosse Anzahl zum Theil vortrefflicher Lehrbücher der Physik besitzen, so fehlte doch bisher ein Werk, in welchem die besonderen Bedürfnisse des Chemikers, Pharmaceuten und Arztes eine mehr als untergeordnete Berücksichtigung gefunden hätten. Diese Lücke in unserer naturwissenschaftlichen Literatur, welche dem Verfasser bei seinen Vorträgen an der hiesigen Universität sehr häufig fühlbar geworden ist, gab die erste Veranlassung zur Herausgabe des vorliegenden Werkes. Dem aufmerksamen Leser kann übrigens nicht entgehen, dass, obschon diejenigen Zweige der Physik, welche als vorbereitend für das Studium der Chemie die unentbehrlichsten sind, mit besonderer Ausführlichkeit behandelt wurden, darum doch andere Zweige im Verhältniss zu ihrer Bedeutung nicht verkürzt worden sind, und dass auch die mathematische Begründung, so weit in einem Buche, das seiner Bestimmung nach wesentlich ein elementares sein soll, erwartet werden kann, gebührend berücksichtigt worden ist.

Die bis in die neueste Zeit hin so rasche Fortentwicklung fast aller Zweige der Physik machten in den

Lehren des Magnetismus, der Electricität und des Lichtes wiederholte Umarbeitungen nöthig, und erforderten zeitraubendere experimentelle Vorstudien, als anfangs berechnet worden war. Das endliche Erscheinen des Werkes ist dadurch verzögert worden; doch vielleicht nicht ohne verhältnissmässige Erhöhung seines inneren Werthes. Zur Vergrösserung dieses letzteren hat nach der Ueberzeugung des Verfassers noch der Umstand beigetragen, dass es ihm gelungen ist, für die Bearbeitung des Abschnittes: Theorie der Musik, Seite 530, so wie der zweiten Abtheilung der Optik, Seite 610, die Kräfte eines mit diesen Theilen der Experimentalphysik auf's gründlichste vertrauten Gelehrten, seines hochgeschätzten Collegen, Herrn Professor Zamminer zu gewinnen.

Giessen im December 1852.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	3
I. Von den Körpern überhaupt	4
Allgemeine Eigenschaften der Körper, Naturkräfte .	6
Vom Messen	10
Dichtigkeit, specifisches Gewicht	12
Von den Körperzuständen	13
II. Von der Wärme und ihrem Einflusse auf die Beschaffenheit der Körper	18
Quecksilberthermometer	24
Mass der Ausdehnung der Körper durch die Wärme .	26
Feste Körper	26
Tropfbare Flüssigkeiten	29
Ausdehnsame Flüssigkeiten	32
Von der Wärmecapacität der Körper	34
Von der gebundenen Wärme	38
Von der specifischen Wärme der Atome . . .	42
III. Von den bewegenden Kräften im Allgemeinen und insbesondere von der Schwerkraft	43
Bewegungsgrösse; Stoss unelastischer Körper . .	54
Vom Gleichgewichte	55
Vom Reibungswiderstande	66
Von den Trägheitsmomenten	69
Vom Pendel	71
Von der Wage	76
Bewegungen in krummer Linie	82
Excentrischer Stoss	85

Seite

IV. Von den physikalischeu Eigenschaften der Flüssigkeiten, insbesondere der schweren tropfbaren Flüssigkeiten 85
Verhalten der Flüssigkeiten gegen darin eingetauchte feste Körper 92
Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper auf hydrostatischem Wege . . 95
Von der Capillarität oder den Wirkungen der Haarröhrchenkraft 106

V. Von den physikalischen Eigenschaften der Luft und der gasförmigen Körper überhaupt 114
Specifisches Gewicht der Gase 129
Höhenmessen mit dem Barometer 134

VI. Bewegungsgesetze flüssiger Körper 137
Ausfluss tropfbarer Flüssigkeiten aus Behältern . . 137
Ausfluss gasförmiger Körper 146
Hydraulische und pneumatische Apparate . . . 149
Diffusion und Absorption der Gase 156

VII. Von den Dämpfen 162
Dämpfe im luftleeren Raume 163
Dämpfe gemengt mit Gasen; Verdunstung . . . 169
Specifisches Gewicht der Dämpfe 172
Der Wasserdampf als Betriebskraft 177
Gebundene Wärme der Dämpfe 178
Hygrometrie 185

VIII. Von den magnetischen und electrischen Kräften . 192
Erscheinungen und Gesetze der magnetischen Anziehung und Abstossung 192
Erscheinungen der electrischen Anziehung und Abstossung 210
Nähere Betrachtung der Electricitäts-Erzeugung durch Reibung 223
Electrisirmaschine 225
Leidner Flasche. Verstärkte Electricität . . . 230
Condensator 234
Electrophor 236
Gesetze der electrischen Anziehungen und Abstossungen 238
Vertheilung freier Electricität im Ruhezustande . . 242
Ueber Luft-Electricität und Gewitterableiter . . 252
Berührungs-Electricität 259
Von der Electricität im Bewegungszustande . . 281
Electromagnetische Messwerkzeuge; Galvanometer . 289

Seite

Ueber das Mass magnetischer Kräfte 302
Die electrochemische Zersetzung 313
Von dem Leitungswiderstande und dem Ohm'schen Gesetze 342
Wärmeentwicklung durch electrische Ströme . . . 353
Thermoelectricität 369
Electromagnetismus 379
Electrodynamik 410
Electrodynamische Vertheilung (Induction) . . 419
Von der thierischen Electricität 443
Ueber den magnetischen Zustand aller Körper . . 450

IX. Von den Wasserwellen 455

X. Von der Elasticität und der Wellenbewegung in elastischen Körpern 463
Stoss elastischer Körper 476
Fortpflanzung der Bewegung in einem gleichartig elastischen Mittel; Wellenbewegung 479
Luftwellen 503

XI. Erzeugung und Fortpflanzung des Schalls . . . 510
Theorie der Musik und der musikalischen Instrumente 530
Das Gehörorgan 543

XII. Von dem Lichte.
Erste Abtheilung 544
Vom menschlichen Auge und den dioptrischen Instrumenten 589
Zweite Abtheilung 610
Polarisation des Lichtes 623
Doppelte Brechung 638
Chemische Wirkungen des Lichtes 660

XIII. Von der strahlenden Wärme 662

Inhalt des Anhangs.

Mit besonderer Bezeichnung der Seiten.

		Seite
Tafeln zum Gebrauche des Physikers und Chemikers	. .	1
I.	Vergleichung der gebräuchlichsten Maasse	3
II.	Vergleichung der gebräuchlichsten Gewichte	10
III.	Specifische Gewichte	13
IV.	Ausdehnung der Körper durch die Wärme	17
V.	Specifische Wärme der Körper	19
VI.	Specifische Wärme der Atome	20
VII.	Schmelzpunkte	23
VIII.	Siedpunkte	23
IX.	Kälte - Mischungen	24
X.	Reduction der Aräometergrade von Beaumé, Cartier und Beck auf specifische Gewichte	25
XI.	Tafeln zur Alkoholometrie	27
XII.	Bestimmung des Gehaltes einiger verdünnten Säuren und Alkalien aus ihrem specifischen Gewichte	35
XIII.	Absorptionsvermögen fester und flüssiger Körper, bei Berührung mit Gasen	39
XIV.	Siedpunct des reinen Wassers bei verschiedenen Barometerständen	40
XV.	Grösste Spannkräfte des Wasserdampfs	40
XVI.	Wassergehalt der atmosphärischen Luft in Millionttheilen des Raumes	44
XVII.	Brechungsverhältnisse einiger Glasarten und Flüssigkeiten für die den dunklen Linien *B* bis *H* in Spectrum entsprechenden Strahlen	45
XVIII.	Brechungsverhältnisse für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit	46
XIX.	Brechungsverhältnisse und absolutes Brechungsvermögen einiger Gase bei 0° und 0,76^{mm}	47
Register	. . . . .	49

Grundriss

der

Experimentalphysik.

Einleitung.

1. Die Erforschung der Naturerscheinungen, die Darlegung der Bedingungen ihres Auftretens und die Erklärung ihrer Ursachen bildet den Gegenstand der Naturlehre oder der Physik.

Mit dem Worte Natur, Körperwelt, bezeichnet man den Inbegriff aller sinnlichen Wahrnehmungen.

Jeder Vorgang oder jede Veränderung in der Körperwelt wird eine Naturerscheinung (Phänomen) genannt.

2. Eine Naturerscheinung nach allen ihren Beziehungen bestimmt auffassen und erkennen, heisst dieselbe beobachten.

Was uns von den Erscheinungen in der Natur bekannt ist, gründet sich auf Beobachtungen, die theils im Leben unmittelbar aufgefasst worden, theils aus absichtlich angestellten Versuchen oder Experimenten (daher Experimentalphysik) hervorgegangen sind.

Das Geschäft des Naturforschers besteht darin, diese Beobachtungen zu sammeln und zu vervielfältigen, sie zu ordnen und in Verbindung zu bringen. Sie dienen dem Verstande als Anhaltspuncte, als Hülfsmittel zu Schlüssen über die Bedingungen der Wiederkehr und über die Ursachen der um uns vorgehenden Veränderungen. Indem die Vorstellungen (Ideen), zu welchen sie leiten, durch neue Beobachtungen, welche die Aussprüche passend angeordneter Versuche seyn können, geprüft, verbessert und erweitert werden, gelangt man allmählig zu einer immer deutlicheren Erkenntniss des wahren Zusammenhangs und der letzten Gründe der Naturerscheinungen.

3. Die Bedingungen der Wiederkehr einer Naturerscheinung, in einem Begriffe zusammengefasst, nennt man deren Gesetz und insofern diese Bedingungen nur aus Beobachtungen, Erfahrungen abgeleitet werden können, Erfahrungsgesetz.

4. Wenn das Gesetz einer Naturerscheinung oder auch einer ganzen Reihe von Erscheinungen durch folgerichtige Schlüsse auf seine letzte Ursache zurückgeführt ist, so sagt man, dieselben seyen erklärt.

Wenn die Vorstellungen, welche einer solchen Erklärung zu Grunde liegen, den Erscheinungen, die sie erklären sollen, durchaus angemessen sind, wenn ihnen durch keine Erfahrung, durch keine Thatsache widersprochen wird, so gebührt ihnen der Name einer Theorie.

Lässt sich das Gesetz einer Erscheinung aus der Theorie rückwärts, als einfache und nothwendige Folge ableiten, so dürfen wir dasselbe als den wahren Ausdruck für die Bedingungen der Wiederkehr dieser Erscheinung betrachten; es ist ein Naturgesetz.

Theorien, deren Richtigkeit noch zweifelhaft erscheint, welche z. B. nur eine einzige oder doch nur wenige Beobachtungen zu ihrer Stütze haben, werden Hypothesen genannt.

Das dem menschlichen Verstande eigenthümliche Bestreben, sich von den Vorgängen in der Natur Rechenschaft zu geben, führt häufig zu Hypothesen, die bei fortgesetztem gründlichen Studium wieder verworfen werden müssen. Eine Vorstellung entfernt sich um so weiter von dem Gebiete des Hypothetischen, je grösser die Zahl der Erscheinungen ist, zu deren Erklärung sie uns den Schlüssel liefert.

Eine Theorie, wenn gleich sie die wahre Ursache einer grossen Reihe von Erscheinungen zu enthalten scheint, ist dennoch zuweilen unzureichend, um von andern verwandten Erscheinungen eine ungezwungene Erklärung zu geben. Hierdurch ist nun allerdings bewiesen, dass diese Theorie noch unvollkommen, nicht aber dass sie unrichtig ist. Als falsch aber und als verwerflich muss eine Theorie betrachtet werden, wenn derselben auch nur eine einzige wohlbegründete Thatsache unbedingt widerspricht.

I. Von den Körpern überhaupt.

5. Alles, was einen begränzten Raum selbstständig ausfüllt, oder was Ausdehnung und Undurchdringlichkeit besitzt, heisst Körper. Der Raum selbst, welchen die Gränzen eines Körpers einschliessen, heisst sein Rauminhalt (Volumen).

Jeder Körper, den wir wahrnehmen können, besitzt Grösse, Gestalt, Umfang, und erstreckt sich nach allen drei Richtungen; er hat Ausdehnung. Kein Körper verlässt freiwillig den Raum, den er einnimmt, noch gestattet er einem andern Körper, in diesen Raum einzudringen, bevor er ihn selbst verlassen hat; er ist undurchdringlich.

6. Was ein Körper irgend in die Sinne Fallendes darbietet, heisst Eigenschaft desselben.

Alle Vorgänge in der Natur, alle Naturerscheinungen sind Aenderungen, welche Eigenschaften oder Zustände der Körper erfahren.

Wir machen diese Aenderungen von gewissen Ursachen abhängig, die wir Kräfte oder Naturkräfte nennen und welche wir uns immer so vorstellen, als könnten sie sich ausserhalb der Körper befinden, auf welche sie einwirken. Wenn auch eine solche Trennung in der Wirklichkeit nicht bewerkstelligt werden kann, so ist doch diese Vorstellung von grossem Nutzen und bildet den Ausgangspunct der wichtigsten Fortschritte in der Physik.

7. Das Raumerfüllende von den Kräften getrennt oder für sich betrachtet, heisst Materie, Stoff.

Die Materie wirkt nach unserer Vorstellung nicht durch sich selbst auf die Sinne; sie ist eigenschaftslos, unthätig, träge; sie fördert weder, noch hindert sie die Veränderungen, welche durch die Naturkräfte in den Körpern hervorgebracht werden; sie ist die blosse Trägerin dieser Kräfte.

8. Die Eigenschaften, welche wir bei den Körpern entdecken, sind Aeusserungen der in ihrer Materie thätigen Kräfte.

Manche Eigenschaften sind allen Körpern gemein; z. B. alle Körper besitzen Gewicht, alle sind beweglich, alle theilbar.

Andere Eigenschaften gehören gewissen Klassen von Körpern an und sind also bezeichnend für diese. So treffen wir viele Körper in fester Form, andere in flüssiger und wieder andere in Luftform. Sehr viele feste Körper zeigen sich uns in bestimmter, regelmässig wiederkehrender Gestalt, als Krystalle; bei andern ist die Gestalt etwas Zufälliges u. s. w.

Noch andere Eigenschaften, wie Farbe, Glanz, Härte von bestimmter Art, eine gewisse Krystallgestalt, ein gewisses Verhalten gegen andere Körper u. s. w. gehören nur einzelnen Körpern an. Alle solche Eigenschaften, wodurch sich ein Körper von andern unterscheidet, bilden zusammengenommen das, was man seine Eigenthümlichkeit (Charakteristik) nennt; sie bezeichnen die Qualität, die Art eines Körpers, die Beschaffenheit seines Stoffes.

9. Zwei Körper, welche wesentlich verschiedene Eigenschaften zeigen, nennt man verschiedenartige oder qualitativ verschiedene Körper.

10. Zwei Körper werden quantitativ verschieden genannt, wenn sie bei wesentlich gleichen Eigenschaften doch noch Verschiedenheiten darbieten; wenn sie z. B. ungleiche Grösse oder ungleiches Gewicht besitzen.

11. Die Darlegung der Ursachen, welche die Verschiedenartigkeit der Körper bedingen, bildet den eigentlichen Inhalt der Chemie als eines besonderen Theiles der Naturlehre; während die Physik im engeren Sinne (auch mechanische Physik genannt) sich mit dem allgemeinen Verhalten der Körper befasst, oder sich als hauptsächlichste Frage diejenige stellt: welche Eigenschaften allen Körpern gemein sind und von was für Kräften sie abhängen.

Von den allgemeinen Eigenschaften der Körper und von den Naturkräften.

12. Gewisse Eigenschaften sind bei allen Körpern in dem Grade hervortretend, dass sie sich vorzugsweise als allgemeine Eigenschaften charakterisiren. Dahin gehört: Schwere, Beweglichkeit, Zusammendrückbarkeit, Porosität, Theilbarkeit.

13. Schwere. Jeder ruhende Körper ohne Ausnahme äussert einen Druck auf seine Unterlage; er fällt, so wie man die Unterlage entfernt, d. h. er bewegt sich in einer bestimmten Richtung, welche die lothrechte oder senkrechte heisst, gegen die Oberfläche der Erde. Diesen Druck, dieses Bestreben zu fallen, leiten wir von einer besondern Kraft ab, welche die Schwere, Schwerkraft genannt wird. Man kann sie zunächst als eine Anziehung betrachten, welche die Erde auf alle Erdkörper ausübt. Alle Körper sind schwer, heisst demnach: alle Körper werden von der Erde angezogen.

14. Beweglichkeit. Die Körper streben nicht nur gegen die Erde zu fallen, sie können durch äussere Ursachen auch nach jeder andern Richtung bewegt werden. Wir selbst sind im Stande, Körpern Bewegung zu ertheilen, und wir finden, dass jeder bewegte Körper seinerseits wieder andere zu bewegen vermag. Kräfte, durch deren Einwirkung die Lage oder der Ort eines Körpers verändert werden kann, heissen bewegende oder mechanische Kräfte.

15. Zusammendrückbarkeit und Porosität. Viele Körper können durch äusseren Druck sehr bedeutend zusammengepresst werden. Kork, Holz, Luft; Prägen der Metalle. Die Erfahrung lehrt, dass selbst solche Körper, die man früher für unzusammendrückbar hielt, wie das Wasser, äusseren Einwirkungen, die ihren Raum (Volumen) zu vermindern streben, nicht ganz zu widerstehen vermögen.

Dieses Verhalten widerspricht nicht der Undurchdringlichkeit der Materie, denn man findet, dass die Materie sehr vieler Körper den Raum, worin sie eingeschlossen ist, nicht stetig (nicht ununterbrochen) ausfüllt; man ist berechtigt, auf eine ähnliche Beschaf-

fenheit auch bei solchen Körpern zu schliessen, bei welchen sich dieselbe nicht direkt wahrnehmen lässt.

Man stellt sich vor, dass jeder Körper aus einem Aggregate materieller Theile bestehe, welche in keiner unmittelbaren Berührung sind, wohl aber durch anziehende oder zusammendrückende Kräfte einander genähert oder durch abstossende von einander entfernt werden können. Die hierdurch gebildeten Zwischenräume heissen Poren; die bezeichnete Eigenschaft: Porosität.

Bei vielen Körpern sind die Poren ganz deutlich sichtbar; Holz, thierische Membrane, poröse Steine. Man hat aber ausser der Sichtbarkeit noch andere direkte Beweise für die Porosität; das Filter des Chemikers; Quecksilber lässt sich durch Leder und durch die dichtesten Hölzer pressen. Wasser, luftförmige Körper sickern bei sehr starkem Drucke selbst durch Metalle, wie durch Gefässe von Kupfer oder Gold. Manche Stoffe, z. B. trockner Thon, ausgeglühter Gyps, saugen beträchtliche Mengen von Wasser ein ohne verhältnissmässige Vergrösserung ihres Umfangs. Verminderung des anfänglichen Rauminhaltes bei Vermischung mancher Flüssigkeiten oder auch Auflösung fester in flüssigen Körpern; z. B. Vermischung von Schwefelsäure oder Alkohol mit Wasser, zu gleichen Theilen. Der Umfang aller Körper wird durch Erhitzen vergrössert ohne irgend bemerkbare Unterbrechung des anfänglichen materiellen Zusammenhanges. Abkühlen verringert das Volumen der Körper.

16. Theilbarkeit. Man versteht hierunter die Eigenschaft, die jeder Körper besitzt, sich in kleinere Theile zerlegen zu lassen.

Viele Körper können in Theile von so ausserordentlicher Kleinheit zerlegt werden, dass wir zur Bestimmung ihrer Grösse kaum noch einen sichern Anhalt zu finden vermögen. Indessen, so weit auch die Theilung getrieben worden seyn mochte, so kann es doch geschehen, dass, insofern das Ganze eine gleichartige Masse bildete, auch die Theile, sowohl unter einander wie mit dem Ganzen gleichartig sind; z. B. der kleinste Splitter von einem Goldstücke abgelöst, besitzt alle Eigenschaften, welche das Gold auszeichnen.

Die Eigenschaft der Körper, sich in kleinere gleichartige Theile zerlegen zu lassen, heisst mechanische Theilbarkeit.

Zerschneiden, Zerbrechen, Zerschlagen, Zerstossen, Zerreiben u. s. f. sind die gewöhnlichen Hülfsmittel, mechanische Theilung zu bewirken.

17. Die mechanische Zerlegung der Körper kann, wenigstens mit den uns zu Gebote stehenden Hülfsmitteln, nicht über die Gränzen der sinnlichen Wahrnehmbarkeit hinaus fortgesetzt werden. Die Frage, ob die Theilbarkeit, als Eigenschaft der Materie, überhaupt Gränzen findet, lässt sich daher auf physikalischem Wege nicht beantworten. Mit Beziehung auf die bis jetzt bekannten Wirkungen der Naturkräfte haben wir jedoch Gründe, die Theilbarkeit als begränzt und also die gleichartigen zusammensetzenden Theile der Körper ihrer Form, Grösse und inneren (eigenthümlichen, qualitativen) Beschaffenheit nach als gegeben zu betrachten.

Die nach dieser Vorstellung kleinsten Theile der Körper heissen Massentheile oder Atome.

Jeder gleichartige Körper ist ein Aggregat, eine Nebeneinanderlagerung gleichartiger Atome. Die Atome sind die Träger einer anziehenden Kraft (Cohäsionskraft), durch deren Einwirkung sie sich gegenseitig zu nähern streben, und zugleich einer abstossenden

Kraft (Expansionskraft), welche die völlige Berührung der Atome verhindert.

18. Die Atome der meisten Körper, wenn auch mechanisch nicht weiter zerlegbar, lassen sich gleichwohl noch chemisch zertheilen, d. h. sie können unter dem Einflusse gewisser Kräfte, die man chemishe Kräfte nennt, in zwei oder mehrere Bestandtheile geschieden werden, welche hinsichtlich der Beschaffenheit des Stoffes weder unter einander noch mit dem Ganzen übereinstimmen.

19. Es gibt nur eine kleine Anzahl Körper — im Ganzen sind deren 55 bekannt, — welche bis jetzt in keine weiteren, ungleichartigen Bestandtheile, oder welche nicht chemisch zerlegt werden konnten. Man betrachtet sie desshalb, vorläufig wenigstens, als einfache Stoffe. Im Gegensatze werden alle übrigen Körper zusammengesetzte Stoffe genannt.

Die kleinsten Theile der einfachen Stoffe heissen einfache Atome; wir müssen sie der Grösse, Gestalt und ganzen Beschaffenheit nach als ursprünglich vorhanden und unveränderlich betrachten.

Die kleinsten, d. h. mechanisch nicht weiter zerlegbaren Theile der zusammengesetzten Stoffe heissen zusammengesetzte Atome.

Da eine gegenseitige Durchdringung dem Begriffe des Atoms widerstreitet, so können die zusammengesetzten Atome nur durch Nebeneinanderlagerung (Juxtaposition) der einfachen entstanden seyn.

Jedes zusammengesetzte Atom heisst auch eine chemische Verbindung.

Die Kraft, vermöge der die einfachen Atome einander anziehen und mit einer Stärke festhalten, die stets grösser ist als der mechanische Zusammenhang der gebildeten zusammengesetzten Atome, wird chemische Verwandtschaft oder auch Affinität genannt.

Die ganze Klasse von Erscheinungen, welche von der chemischen Verwandtschaft und von der Wechselwirkung ungleichartiger Stoffe abhängen, gehören in das Gebiet der Chemie.

20. Die in den vorhergehenden Paragraphen erörterte Vorstellung, dass die neben einander liegenden kleinsten Theile der Körper in keiner unmittelbaren Berührung stehen und ihrer ganzen Beschaffenheit nach ursprünglich vorhanden und unveränderlich seyen, heisst die atomistische Theorie.

Sie wird noch nicht von allen Physikern mit gleichem Beifalle aufgenommen. Viele neigen sich mehr zu einer andern Vorstellung, deren Ausgangspuncte nicht in gleichem Grade in der Erfahrung wurzeln, welche vielmehr aus einer rein geistigen Anschauung der Dinge hervorgegangen ist. Sie heisst die dynamische Theorie, weil nach ihr ursprünglich nur Kräfte vorhanden waren, eine

Ziehkraft und eine Dehnkraft. Die Materie ist das Resultat der Wechselwirkung dieser entgegengesetzten Kräfte; sie bildet ein stetiges Ganze und ist bis in's Unendliche theilbar.

Der Werth einer physikalischen Theorie wird bestimmt durch den Einfluss, den sie auf die Wissenschaft übt, sey es durch Aufklärung der Erscheinungen, durch Erleichterung der Uebersicht, durch Vereinfachung der Gesetze, sey es indem sie den Weg zu neuen Forschungen ebnet. Durch die dynamische Hypothese ist die Naturlehre weder in der einen noch in der andern Beziehung auch nur einen Schritt vorwärts gekommen. Gewiss ist es dagegen, dass die atomistische Ansicht für unsere Forschungen über die physische Constitution der Körper den sichersten Anhaltspunct gewährt hat und noch immer gewährt und dass wir ihr einen grossen Theil der Fortschritte der neueren Chemie und Physik verdanken.

21. Ausser den bisher erwähnten, zunächst auffallenden allgemeinen Eigenschaften der Körper gibt es noch andere, die, wenn auch vielleicht nicht weniger allgemein, doch gleichsam nur unter gewissen Bedingungen und nur vorübergehend an den Körpern wahrgenommen werden. Es hat den Anschein, als ob sie weniger innig mit dem Wesen derselben verknüpft seyen, und als ob die Ursachen, die Kräfte, von welchen sie abhängen, der bekannten Materie als Träger nicht bedürften. Diese Eigenschaften sind: Erwärmungsfähigkeit (oder auch Abkühlungsfähigkeit), Sichtbarkeit, elektrisches und magnetisches Verhalten.

Man huldigte früher ganz allgemein der Vorstellung, dass diese Eigenschaften an gewissen Stoffen hafteten, die mit den sinnlich wahrnehmbaren Stoffen nicht zu verwechseln seyen, wohl aber mit diesen letzteren Verbindungen einzugehen vermöchten. Diese hypothetischen Stoffe nannte man: Wärmestoff, Lichtstoff, elektrisches und magnetisches Fluidum, und man legte denselben mancherlei Eigenschaften bei, z. B. Gewichtslosigkeit, weil die mit ihnen in Verbindung getretenen Körper dadurch an Gewicht nicht zugenommen hatten, noch auch durch den Austritt derselben leichter geworden waren; — daher der Name Imponderabilien.

Hiernach erwärmt sich ein Körper durch Aufnahme von Wärmestoff; er wird leuchtend durch die Verbindung mit Lichtstoff; er wird elektrisch oder magnetisch, wenn er sich mit Elektricum oder mit Magneticum verbunden hat.

Obgleich die Vorstellung von den imponderablen Stoffen mit Beziehung auf die magnetischen und optischen Erscheinungen ganz unhaltbar, hinsichtlich der elektrischen und Wärme-Erscheinungen wenigstens zweifelhaft geworden ist, so ist es doch dem Scharfsinne der Naturforscher bis jetzt nicht gelungen, die hierdurch fühlbar gewordene Lücke auf ganz befriedigende Weise auszufüllen.

Wenn demnach unsere Ansichten über die letzten Gründe der Wirkungen des Lichtes, der Wärme, der Elektricität und des Magnetismus noch sehr mangelhaft und unvollkommen sind, so ist es

gleichwohl geglückt, den grössten Theil der Erscheinungen, welche dieser wichtige und anziehende Theil der Physik darbietet, auf feste, nicht selten sehr einfache Gesetze zurückzuführen.

Vom Messen.

22. Körper, welche sich in mehreren oder selbst in allen ihren Eigenschaften gleichen, können doch noch verschieden seyn in Beziehung auf das Mass (Quantität), in welchem sie diese Eigenschaften besitzen. Die Vergleichung dessen, was die Körper bei, der Art nach, gleichen Eigenschaften, dem Mass nach Verschiedenes oder quantitativ Verschiedenes besitzen, heisst: Messen.

Jeder Körper, welcher zu einer derartigen Vergleichung geeignet oder besonders dazu eingerichtet ist, jedes passende Vergleichungsmittel quantitativer Verschiedenheiten heisst ein Mass (im engeren Sinne des Wortes) oder Messwerkzeug.

Die wichtigsten und am häufigsten vorkommenden Messungen sind Bestimmungen von räumlichen Grössen und von Gewichten. Es sind zugleich die einzigen, von welchen hier schon die Rede seyn kann.

23. Um die körperliche Grösse oder den Rauminhalt verschiedener Körper zu messen, muss ein gewisser Raum als Ausgangspunct der Vergleichung gewählt werden. Dieser übrigens willkührlich angenommene Raum heisst Einheit des Körpermasses. Der Rauminhalt eines Körpers ist gemessen, sobald das Verhältniss desselben zu dem der Einheit bekannt ist, oder sobald man weiss, wie vielmal sich die Einheit in den zu messenden Raum eintragen lässt.

Das Messen körperlicher Räume ist in sehr vielen Fällen nicht direkt ausführbar. Die räumlichen Messungen können aber stets auf Längenmessungen zurückgeführt werden. Wie diess geschieht, lehrt die Geometrie.

Das Längenmass bildet daher gewöhnlich die Grundlage der Flächen- und Körpermasse. Unter allen Grössenmessungen sind die Längenmessungen die am häufigsten vorkommenden. Sie geschehen aber in verschiedenen Ländern nicht mit derselben Masseinheit.

Die Bedingungen eines praktisch werthvollen Masses sind: Unveränderlichkeit, möglichst grosse Verbreitung, Bequemlichkeit im Gebrauche. Die an verschiedenen Orten gebräuchlichen Masse erfüllen nicht in gleichem Grade diese Bedingungen. Zu den verbreitetsten Massen gehören: der alte Pariser Fuss, das Metre oder neue französische Mass, der englische, rheinische und östreichische Fuss.

Diese, so wie die meisten guten neueren Masse sind auf die

Grundlage des Pariser Fusses regulirt worden, in der Weise, dass z. B.

Ein Metre gesetzlich = 443,296 P. L. (Pariser Linien.)
Ein englischer Fuss = 135,098 „ „
Ein rhein. F. gesetzl. = 139,128 „ „
Ein östreich. F. ges. = 140,125 „ „

Die gesetzlich bestimmte Länge dieser Masse wurde mit möglichster Genauigkeit und Umsicht auf Stäben von Platin, Eisen oder Messing aufgetragen, wodurch die Bedingung der Unveränderlichkeit sich am sichersten erreichen lässt. Solche durch das Gesetz anerkannte Massstäbe heissen Normalmasse. (Eine Vergleichung der gebräuchlichsten Masse findet man auf der ersten der diesem Werke angehängten Tafeln.)

Zur genauen Festsetzung sehr kleiner Längenverschiedenheiten benutzt man den Nonius, den Transversalmassstab.

24. Die Vergleichung des Gewichtes verschiedener Körper, das Wiegen, ist ebenfalls eine Messoperation. Das hierzu nöthige Mass heisst: die Gewichtseinheit. Mehrere Gewichtseinheiten, die man in der Regel zusammen gebraucht, werden vorzugsweise die Gewichte genannt. Das Gewicht eines Körpers ist gemessen, wenn das Verhältniss des Druckes, den er auf seine Unterlage ausübt, zu dem der Gewichtseinheit gefunden ist. Zur Ermittlung dieses Verhältnisses ist jedoch ausser den Gewichten noch ein besonderes Werkzeug, die Wage, erforderlich.

Der Gebrauch der Wage ist eine allgemein bekannte Sache; ihre nähere Einrichtung und Theorie kann aber erst später erklärt werden (150).

Wiegen, mit Beziehung auf die dazu verwendeten Hülfsmittel, heisst nun: die Anzahl von Gewichtstheilen bestimmen, welche einen dem zu wiegenden Körper gleichen Druck ausüben, oder deren Druck mit demjenigen des Körpers im Gleichgewichte steht.

Die Annahme der Gewichtseinheit ist eben so willkührlich wie die der Längeneinheit. Es sind daher in verschiedenen Ländern auch verschiedene Gewichte im Gebrauche. (Näheres hierüber findet man auf Taf. II.)

In diesem Werke wird als Gewichtseinheit vorzugsweise das Gramme angewendet werden.

1000 Milligramme = 100 Centigramme = 10 Decigramme = 1 Gramme.

1000 Gramme = 1 Kilogramme.

Ein Gramme reines Wasser bei seiner grössten Dichte ist = 1 Cubikcentimeter (C. C.).

1000 Gramme Wasser = 1000 C. C. = 1 Litre.

Von der Dichtigkeit der Körper und vom specifischen Gewichte.

25. Die Menge (Quantität) von Materie, welche den Raum eines Körpers ausfüllt, heisst seine **Masse**.

26. Das Verhältniss der Masse eines Körpers zu seinem Rauminhalte (Volumen) nennt man seine **Dichtigkeit**.

27. Ein Körper ist **dichter** wie der andere, wenn er in gleichem Raume eine grössere Menge materieller Theile enthält. Ein Körper heisst **verdichtet**, wenn sein Raum sich vermindert hat, ohne Aenderung seiner Masse.

Da die Körper poröse sind, da ihr Umfang durch äussere Einwirkungen vergrössert und auch verringert werden kann, so gestattet die Grösse ihres Raumes keinen unbedingten Schluss auf die Menge der darin eingeschlossenen Materie, oder zwei Körper von gleichem Rauminhalte können sehr ungleiche Massen enthalten.

28. Das Gewicht eines Körpers ist gleich der Summe der Gewichte seiner Atome. Ein Körper enthält um so mehr materielle Theile von gleichem Gewichte, je stärker er selbst auf die Wage drückt; er ist also um so dichter, je mehr Gewichtstheile er in demselben Raume umfasst. Wir schliessen hieraus: dass die Masse der Körper ihrem Gewichte proportional ist, und dass folglich die **Dichtigkeit** auch bezeichnet werden darf: **als das Verhältniss des Gewichtes zu dem Rauminhalte oder Volumen.**

Nennen wir z. B. das Gewicht von 1 C.C. Wasser die Dichtigkeit desselben, so ist das Verhältniss eines beliebigen Gewichtes Glas zu der Anzahl Cubikcentimeter seines Inhalts, oder was dasselbe bedeutet, das Gewicht von 1. C.C. Glas, die Dichtigkeit des Glases u. s. w.

29. Zahlen, welche die Dichtigkeiten der Körper in der Art ausdrücken, dass man die ganze in der Raumeseinheit eingeschlossene Gewichtsmasse von einem derselben, z. B. vom Wasser, zugleich als Gewichtseinheit annimmt, werden die **specifischen Gewichte** dieser Körper genannt.

Man findet z. B. die Gewichte von einem Darmst. K. Z. oder $^1/_{64}$ Litre

Wasser	15,625	Gramme.
Glas	39,063	„
Eisen	121,688	„
Blei	177,375	„
Korkholz	3,750	„

Nennt man nun das in Grammen gefundene Gewicht von einem K. Z. Wasser 1, z. B. ein Loth, und drückt man in dieser neuen Gewichtseinheit auch die andern Gewichte aus, so ergeben sich die specifischen Gewichte

des Wassers	1
des Glases	2,500
des Eisens	7,788
des Bleis	11,352
des Korkholzes	0,240

(Ein ausführliches Verzeichniss von specif. Gewichten findet sich Taf. III.)

30. Die Bestimmung des specifischen Gewichtes eines Körpers setzt voraus: Kenntniss seines (absoluten) Gewichtes, so wie seines räumlichen Inhaltes. Ersteres lässt sich immer durch die Wage ermitteln, letzteres ist aber nur in wenigen Fällen auf geometrischem Wege mit befriedigender Genauigkeit bestimmbar.

Wie man zu verfahren hat, wenn eine genaue direkte Bestimmung des kubischen Inhaltes eines Körpers nicht gut ausführbar oder ganz unmöglich ist, kann erst in der Folge gezeigt werden.

Das gefundene Gewicht, dividirt durch das gefundene Volum, gibt das specifische Gewicht.

Beispiel. Ein Stück lufttrocknes, parallelepipedisch gearbeitetes Buchenholz ist 25 Centimeter lang, 10 Cent. breit, 2 Cent. dick; es enthält also 1250 Cubikcent. und wiegt 937,5 Grm.; daher ist sein specif. Gewicht $= \frac{937,5}{1250} = 0,75$.

Von den Körperzuständen.

31. Wir beobachten die Körper in drei Aggregat-Zuständen: als feste, als flüssige und als gasförmige Körper.

Unter festen Körpern versteht man alle diejenigen, welche eine selbstständige Gestalt besitzen und deren Theile einer jeden äusseren Ursache, welche dieselben zu verschieben oder von einander zu trennen strebt, einen mehr oder weniger grossen Widerstand entgegensetzen.

Die Gestalt fester Körper ist entweder zufällig, d. h. durch zufällige äussere Umstände bedingt und ohne eine deutliche Beziehung zur inneren Beschaffenheit des Stoffes; oder sie hängt von einem gewissen regelmässigen Gefüge der Massentheile, dem sogenannten krystallinischen Gefüge ab, und bildet folglich einen Theil der Eigenthümlichkeit eines Körpers. Körper, die von ebenen Flächen eingeschlossen sind, und deren äussere Gestalt in einer sichtbaren Abhängigkeit zum inneren Gefüge steht, werden Krystalle genannt.

Das Studium der verschiedenen Krystallgestalten und ihrer Abhängigkeit vom inneren Gefüge der Körper bildet den Gegenstand der Krystallographie.

Körper ohne deutliches krystallinisches Gefüge nennt man gestaltlos (amorph), ein Ausdruck, der sich natürlich nur auf den Mangel einer gewissen Regelmässigkeit der Gestalt bezieht.

32. Die nächste Ursache der Festigkeit oder jenes Widerstandes gegen äussere Eindrücke ist die Anziehung, welche jedes materielle Theilchen gegen das andere ausübt. Wir betrachten sie als die Aeusserung

einer Kraft, welche ihren Sitz in den Atomen selbst hat und der wir den Namen Zusammenhangskraft oder Cohäsionskraft beilegen.

Das Daseyn einer anziehenden Kraft zwischen den materiellen Theilchen genügt jedoch nicht zur Erklärung des Zustandes der Festigkeit. Die Bedingung der Unverschiebbarkeit oder doch nur begränzter Verschiebbarkeit setzt ausserdem eine ungleiche Anziehung nach verschiedenen Richtungen, bedingt durch bestimmte Formen und Abstände der Atome, voraus. Der gegenwärtige Zustand der Physik gestattet jedoch noch keine nähere, auf den festen Boden der Erfahrung gestützte Auseinandersetzung dieser Bedingungen.

33. Die Wirkungen der Cohäsionskraft erstrecken sich in wahrnehmbarer Weise nur auf diejenigen verschwindend geringen Entfernungen, welche in der Umgangssprache mit dem Worte Berührung bezeichnet werden.

Verwandelt man einen Körper, z. B. durch Zerreiben, in kleinere Stücke, so zeigt sich zwischen diesen Theilchen, die jetzt nicht mehr in derselben nahen Berührung stehen, wie vorher, gewöhnlich keine bemerkbare Anziehung mehr. Gibt man aber den getrennten Theilen Gelegenheit, sich wieder an mehreren Puncten zu berühren, z. B. durch Abschleifen der Oberflächen, so kommt auch wieder eine deutliche Anziehung zum Vorschein, zunehmend mit der Anzahl der Berührungspuncte; Cohäsionsplatten.

34. Eine der Cohäsion ähnliche Wirkung findet auch zwischen ungleichartigen Körpern statt, wenn sich dieselben eine genügende Anzahl Berührungspuncte darbieten.

Anziehung zwischen abgeschliffenen und polirten Oberflächen beliebiger fester Körper, die man auf einander legt.

Diese Anziehung, da sie nur von den unmittelbar an den Oberflächen liegenden Theilen ausgehen kann, wird Flächenanziehung, auch Adhäsion genannt.

Cohäsion und Adhäsion bezeichnet man auch mit dem gemeinschaftlichen Namen Molekularanziehung, von dem Worte Moleküle, Massentheilchen.

35. Die Körpertheile sind zugleich die Träger einer abstossenden Kraft, d. h. einer Kraft, welche die Atome von einander zu entfernen, oder, was dasselbe bedeutet, die Körper auszudehnen, zu expandiren strebt; daher Expansionskraft.

Die Eigenschaft der Porosität wäre ohne das Daseyn einer solchen Kraft nicht denkbar. Die Festigkeit ist eine Art Gleichgewichtszustand zwischen Cohäsionskraft und Expansionskraft.

Kräfte, welche der Cohäsion entgegenwirken (ziehende oder dehnende Kräfte) unterstützen die Expansionskraft, d. h. sie wirken ausdehnend.

Verlängerung von Stäben von Metall, Holz, Glas u. s. w., die man am einen Ende einklemmt und am andern Ende spannt, z. B. durch angehängte Gewichte. Mit der Verlängerung tritt gleichzeitig eine Verminderung der Dichtigkeit ein. (Pogg. Ann. B. 12. S. 516.)

Man hat gefunden, dass die Längenausdehnung (cylindrischer oder prismatischer Stäbe) in etwas stärkerem Verhältnisse zunimmt, als die Zugkraft, wodurch sie bewirkt wird, und dass über eine gewisse Gränze der Spannung hinaus, eine Gränze, die übrigens bei jedem Körper verschieden ist, der Zusammenhang stets an irgend einem Querschnitte des Stabes aufgehoben wird; er wird zerrissen.

Ein Gewicht, welches eben hinreicht, einen aus irgend einem festen Stoffe gebildeten Stab zu zerreissen, betrachtet man gewöhnlich als ein Mass für die Grösse der Festigkeit an der Stelle, an welcher der Zusammenhang gelöst wurde. Man findet, dass die Grösse dieses Gewichtes sich verhält wie die Grösse des Querschnittes des Stabes, und nennt daher dasjenige Gewicht, wodurch ein gewisser Körper für die Einheit des Querschnittes eben noch zerrissen wird, seine absolute Festigkeit oder auch sein absolutes Tragungsvermögen.

Verschiedene Körper besitzen sehr ungleiche absolute Festigkeit; z. B. Stahl bei einem Querschnitte von 1 Preuss. Q. Z. trägt zwischen 120,000 bis 150,000 Pfund; Schmiedeeisen bei demselben Querschnitte ungefähr 70,000 Pfund; Kupfer höchstens 40,000, Bleidraht noch nicht 4000 und weisses Glas nur 2800 Pfund. Das Tragungsvermögen der Hölzer schwankt zwischen 10 — 20,000 Pfund nicht nur je nach der Natur des Holzes und dem Orte, wo es gewachsen ist, sondern auch je nachdem es vom Splint oder vom Kern genommen ist.

Durch äussere Kräfte, welche in gleichem Sinne wie die Cohäsion wirken, oder welche der Expansion entgegengesetzt sind, werden die Körpertheile einander genähert; es findet Zusammendrückung statt. Der Widerstand eines Körpers gegen das Zusammendrücken wird rückwirkende Festigkeit oder rückwirkendes Tragungsvermögen genannt.

Die Anwendung der Hanfseile und der Ketten gründet sich auf die absolute Festigkeit ihres Stoffes, das Tragungsvermögen der Grundmauern auf die rückwirkende Festigkeit der dazu verwendeten Baumaterialien.

36. Alle festen Körper können unter der Einwirkung äusserer Kräfte gedehnt und zusammengedrückt, ihre einzelnen Theile von einander entfernt und einander genähert, aus der ursprünglichen Lage verrückt und verschoben werden. Haben aber diese Wirkungen gewisse Gränzen nicht überschritten, so stellt sich nach Entfernung der Ursachen, wodurch sie herbeigeführt wurden, die ursprüngliche Gestalt und der ursprüngliche Umfang, kurz das ursprüngliche Gleichgewichtsverhältniss zwischen Cohäsionskraft und Expansionskraft vollständig wieder her. Diese Eigenschaft der festen Körper heisst Elasticität.

Jeder feste Körper ist elastisch, aber keiner ist es in einem

vollkommnen Grade; denn wenn die durch äussere Ursachen bewirkten Aenderungen der Form über eine gewisse Gränze, die Elasticitätsgränze, die bei jedem Körper von seiner besonderen Beschaffenheit abhängt, hinausgehen, kehrt der frühere Zustand nicht ganz zurück; die Kräfte, von welchen derselbe abhängig war, treten in ein anderes Gleichgewichtsverhältniss.

Vorübergehende Veränderungen der Gestalt fester Körper durch Zug, Druck, Biegung, Drehung. Diese Aenderungen sind theilweise bleibend, wenn die Gränzen der Elasticität überschritten werden. Ueberschreitet man aber auch die Gränzen der Dehnbarkeit eines Körpers, so wird derselbe, je nach der Art der Einwirkung, zerrissen, zerdrückt, zerbrochen, abgedreht.

Manche Körper können, ohne zu zerreissen, weit über ihre Elasticitätsgränze hinaus gedehnt werden, indem ihre Theilchen sich verschieben und in eine andere, oft augenscheinlich veränderte Art des Zusammenhanges eintreten, z. B. statt des körnigen ein fasriges Gefüge annehmen. Diese Eigenschaft heisst Zähigkeit.

Gold, Kupfer, Eisen, Blei, zum Glühen erhitztes Glas, Kautschuck, weiches Pech sind zähe Körper.

Mehrere Metalle, die einen hohen Grad der Zähigkeit besitzen und dadurch befähigt sind, sich dehnen, biegen oder in anderer Art bearbeiten zu lassen, ohne ihren Zusammenhang einzubüssen, werden insbesondere streckbare Metalle genannt.

Platin, Gold, Silber, Kupfer, Eisen, Zinn, Blei, Zink, Messing. Schmiedbarkeit, Hämmerbarkeit, Walzbarkeit, so wie die Fähigkeit, sich zu Draht ziehen zu lassen, sind nur Abarten der Streckbarkeit.

Solche Körper, die bei grosser absoluter Festigkeit nur geringe Zähigkeit besitzen, also keine bedeutende Verschiebung ihrer kleinsten Theile gestatten, heissen harte Körper. Diamant, Glas, Stahl.

Weich werden diejenigen genannt, deren Theile durch äussere Einwirkungen leicht getrennt oder doch verschoben werden können. Kalk, Gyps, Wachs, Holz, Blei, Zink.

Weiche Körper, wenn sie zugleich zähe sind, wie das Gold, oder sehr elastisch, wie Holz, Kautschuck, können gleichwohl eine grosse absolute Festigkeit besitzen. Körper, die mit grosser Weiche Zähigkeit verbinden, nennt man auch geschmeidig.

Diejenigen Körper, deren Zähigkeit so gering ist, dass sie keine Dehnung über die Elasticitätsgränze hinaus ertragen können, werden spröde genannt. Gehärteter Stahl, Glas, Harz.

37. Unter dem Namen „flüssige Körper" werden alle diejenigen begriffen, deren Theile durch die geringste Kraftäusserung über und unter einander bewegt werden können und welche zufolge dieser grossen Verschiebbarkeit ihrer Theile keine selbstständige Form behaupten können, z. B. in Gefässen aufbewahrt, immer die Gestalt derselben annehmen müssen. Die Flüssigkeiten

zerfallen in zwei Klassen, in tropfbare und ausdehnsame Flüssigkeiten (Gase).

38. Die tropfbaren Flüssigkeiten charakterisiren sich zunächst durch das Streben zur Tropfenbildung. Ihre Theile setzen einer jeden äusseren Einwirkung, welche sie von einander zu trennen sucht, einen bestimmbaren Widerstand entgegen. Von einander gerissen und wieder in Berührung gebracht, vereinigen sie sich mit grosser Leichtigkeit wieder. Die Cohäsionskraft zeigt sich also bei tropfbaren Flüssigkeiten in deutlicher, ja messbarer Wirksamkeit. Aber ein Theilchen im Innern der Masse übt sie nach allen Richtungen mit gleicher Stärke, und hierin (wie man in der Folge vielleicht deutlicher einsehen wird) liegt der Grund, dass die flüssigen Theile im Innern der Masse gleichwohl eine vollkommene Verschiebbarkeit besitzen.

Die Theilchen an der Oberfläche widersetzen sich bis zu einem gewissen Grade der Verschiebung, und durch äussere Ursachen aus ihrer Lage gebracht, kehren sie nach Entfernung dieser Einwirkung wieder in dieselbe zurück, d. h. sie sind elastisch. In diesem Umstande liegt denn auch — was ebenfalls in der Folge erst ganz deutlich gemacht werden kann — die Ursache der Tropfenbildung.

39. Ueberall, wo Flüssigkeiten mit den Oberflächen fester Körper in Berührung treten, äussert sich zwischen denselben eine bemerkbare, oft sehr starke Flächenanziehung.

Diese Anziehung erhält den Namen Benetzbarkeit, wenn sie stärker ist als das Streben zur Tropfenbildung, dergestalt, dass ein Tropfen der Flüssigkeit über der Oberfläche des festen Körpers zerfliesst.

Z. B. Eisen, Glas, Holz werden vom Wasser, — Gold, Silber, Zinn vom Quecksilber benetzt; Eisen und Glas benetzen sich nicht im Quecksilber, mit Fett getränktes Holz nicht im Wasser.

Feste Körper, deren Oberflächen von einer Flüssigkeit benetzt werden, bleiben, wenn man sie mit letzterer in Berührung bringt und dann davon losreisst, mit einer flüssigen Schicht bedeckt, deren Anziehung zu der übrigen Flüssigkeit also hat überwunden werden müssen. Hierdurch erhalten wir ein Mittel, die Grösse der gegenseitigen Anziehung der flüssigen Theile zu messen.

40. Mit dem Namen ausdehnsame oder gasförmige Flüssigkeiten, Gase, werden alle diejenigen flüssigen Körper bezeichnet, deren Theile, wie die der atmosphärischen Luft, bei der vollkommensten Beweglichkeit nicht die geringste Spur einer gegenseitigen Anziehung erkennen lassen.

Die Gase sind in geschlossenen Gefässen und durch äusseren Druck, z. B. in einem cylindrischen Rohre, dessen eines Ende verschlossen ist und an dessen anderem Ende man einen wohl anschliessenden Stämpel eintreibt, in hohem Grade zusammendrückbar (compressibel). Man nennt sie daher auch zusammendrückbare oder compressible Flüssigkeiten, im Gegensatze zu den tropfbaren, die sich nur sehr wenig durch äusseren Druck verdichten lassen, und aus

diesem Grunde zuweilen unzusammendrückbare (incompressible) Flüssigkeiten genannt werden.

Verdichtete Gase nehmen, wenn die äussere Einwirkung nachgelassen hat, ihren früheren Umfang vollständig wieder ein; z. B. der in einem cylindrischen Rohre eingetriebene Stämpel springt wieder zurück. Man hat ihnen desshalb auch den Namen elastische Flüssigkeiten gegeben.

Die Gase besitzen übrigens die Eigenschaft der Elasticität nicht ganz in dem Sinne wie die festen Körper. Ihre Theile äussern keine Anziehung, sondern nur Druck gegen einander. Sie besitzen daher das Bestreben, ihren Raum zu vergrössern (Ausdehnsamkeit, Expansibilität) bei jedem Grade der Dichtigkeit, vermögen sich aber nicht freiwillig wieder zusammenzuziehen.

Sitzt in dem vorerwähnten cylindrischen Rohre der Stämpel am Boden auf, und zieht man ihn hervor, so dass inwendig ein luftleerer Raum entsteht, so wird er, sich selbst überlassen, mit Gewalt wieder nach Innen getrieben. Hält man ihn und setzt den äusseren Raum mit dem inneren durch die Oeffnung eines Hahnes in Verbindung, so dringt die Luft mit Geräusch ein. Verschliesst man den Hahn erst dann, wenn keine Luft mehr eindringt, so geht der Stämpel nicht mehr freiwillig zurück. Setzt man den luftleeren Raum des Cylinders nicht mit dem ganzen äusseren Raume, sondern nur mit einem luftenthaltenden Glasgefässe in Verbindung, so strömt gleichwohl ein Theil dieser Luft in den leeren Cylinder. Befindet sich zugleich in dem Glasgefässe eine nur theilweise mit Luft erfüllte und zugebundene Schweinsblase, so schwillt sie an. Die Luft äussert also, sey sie verdichtet oder nicht, unverkennbar einen Druck gegen die Oberflächen der Körper; sie strebt, sich nach allen Richtungen auszubreiten und in jeden Raum einzudringen, der noch gar keine oder eine weniger dichte Luft enthält.

Die Eigenschaft der kleinsten Theile der Gase, einander abzustossen oder zu drücken und diesen Druck selbst auf die Oberflächen nicht gasförmiger Körper fortzupflanzen, heisst auch Spannkraft, Expansivvermögen.

II. Von der Wärme und ihrem Einflusse auf die Beschaffenheit der Körper.

41. Alle Körper können die Eigenschaft annehmen, in unseren Gefühlsorganen in den mannichfaltigsten Abstufungen der Stärke diejenigen Empfindungen hervorzubringen, welche mit den Worten: Wärme, Hitze, Kälte bezeichnet werden.

42. Die Körper gewinnen diese Eigenschaft und verlieren sie wieder, sie äussern dieselbe bei unmittelbarer Berührung und aus der Entfernung, ohne dass ihre wägbare Masse dabei irgend zu- oder abnimmt. Man hat daher die genannten Empfindungen von der Gegenwart oder Abwesenheit eines eigenthümlichen Stoffes abgeleitet, den man Wärme oder Wärmestoff genannt hat. Die Wärme ist nach dieser Vorstellung eine unsichtbare, gewichtslose und so feine Flüssigkeit, dass sie leicht in die Poren aller Körper eindringt. Sie wird von den Atomen aller wägbaren Materie angezogen; aber gegen einander selbst üben die neben einander liegenden Theile des Wärmestoffes eine sehr starke Abstossung (Expansibilität), und erhalten dadurch die Fähigkeit, sich nicht nur in jedem freien Raume, sondern auch in den Poren der Körper zu verbreiten.

Die Empfindung von Wärme (Hitze) erklären wir demzufolge aus einem

Zufusse des Wärmestoffes in unseren Körper; die Empfindung von Kälte aus einem Abflusse von Wärmestoff. Wir nennen einen Körper warm, wenn aus seinem Raume Wärme in den unsrigen übertritt; kalt, wenn das Umgekehrte statt findet. *)

43. Die jedesmalige Stärke des Wärmegefühles eines Körpers und im Allgemeinen die jedesmalige Stärke (der Grad), womit die in ihm vorhandene Wärme sowohl auf seine eigene Masse, wie auf diejenige der Umgebung einwirkt, heisst seine Temperatur.

Die Ausdrücke: heiss, warm, lau, kühl, kalt sind Namen für verschiedene Abstufungen oder Höhen der Temperatur, abgeleitet von dem jedesmaligen Gefühlseindrucke.

Wir sagen: die Temperatur eines Körpers nimmt zu, oder er erwärmt sich, wenn er sich heisser anfühlt als vorher; seine Temperatur nimmt ab, er erkaltet, wenn er sich weniger warm anfühlt als vorher.

Als Ursache des Steigens der Temperatur betrachtet man eine Zunahme des in den Poren eines Körpers enthaltenen Wärmestoffes; als Ursache der Abnahme der Temperatur, einen Abfluss von Wärmestoff.

44. Die Temperatur der Körper ist gewöhnlich nichts Bleibendes; man beobachtet beinahe fortwährend entweder eine Zunahme oder Abnahme derselben. Ein Körper, der mit wärmeren in Berührung steht, oder auch nur aus der Ferne von ihnen umgeben ist, erwärmt sich, während die Temperatur der Umgebung abnimmt. Ist ein Körper von kälteren umgeben, so erkaltet er ebenfalls. Es muss hieraus geschlossen werden, dass ein Körper, indem er andern Wärme mittheilt, selbst verliert.

Um dieses Verhalten zu erklären, nimmt man an, dass die Expansivkraft der Wärme in geradem Verhältnisse zu ihrer Dichtigkeit stehe, und dass in den Poren des wärmeren Körpers immer auch ein dichterer Wärmestoff enthalten sey. Die Wärme muss daher aus dem Körper von höherer Temperatur austreten und sich verdünnen, in den von niederer Temperatur eindringen und sich verdichten, so lange bis überall gleiche Dichtigkeit und Temperatur herrscht. Die Temperatur ist hiernach nichts Anderes, als die jedesmalige Grösse des Bestrebens, womit der im Umfange eines Körpers enthaltene Wärmestoff sich auszubreiten oder nach der Umgebung fortzupflanzen sucht.

Man begreift jetzt, dass andere Körper, die mit dem unsrigen in Berührung kommen, demselben Wärme abtreten oder entziehen müssen, je nachdem sie wärmer oder kälter sind, und hierauf gründet sich unser Urtheil über die Tem-

*) Gegen die Richtigkeit der Vorstellung von einer Wärmematerie sind in der neuesten Zeit wohlbegründete Zweifel erhoben worden, und man hat wahrscheinlich zu machen gesucht, dass die fühlbare Wärme nichts Anderes sey, als eine Folge anhaltender Erschütterungen der kleinsten Theile, Erschütterungen, die sich von einem Körper auf den andern fortzupflanzen vermöchten. Diese neuere Hypothese, obschon sie, wie wir später sehen werden, Manches für sich hat, ist doch gegenwärtig jedenfalls noch nicht ausgebildet genug, um sich ihrer als einziger Grundlage zur Erklärung der Wärmeerscheinungen mit Erfolg bedienen zu können.

peratur der Körper. Grossen Einfluss auf dieses Urtheil hat freilich die Schnelligkeit, womit die Entziehung oder Mittheilung stattfindet, während doch, wie wir sogleich sehen werden, die Schnelligkeit der Wärmebewegung nicht von der Temperaturverschiedenheit allein abhängt. Zudem findet man, dass der augenblickliche Zustand des menschlichen Körpers auf sein Urtheil über Wärmeeindrücke nicht ohne Bedeutung ist. Der Ausspruch des Gefühls lässt daher die Beschaffenheit der Temperaturveränderungen nicht mit Zuverlässigkeit erkennen.

45. Wenn die Wärme sich in der Masse eines Körpers von einer Stelle zur andern fortpflanzt, oder wenn sie von einem Körper dem andern durch Berührung mitgetheilt wird, so sagt man, sie werde geleitet, und die Eigenschaft eines Körpers, der Wärme den Durchgang, so wie den Uebertritt zu andern Körpern bei der Berührung zu gestatten, heisst Leitungsvermögen, Leitfähigkeit.

Die oberflächlichste Vergleichung der Körper lehrt, dass ihre Fähigkeit, die Wärme zu leiten, sehr ungleich ist; z. B. eine Kohle, die nur an einem Ende glühend ist, kann man ganz nahe der glühenden Stelle ohne Bedenken mit den Fingern ergreifen; ganz anders verhält sich glühendes Eisen.

46. Körper, welche, wie das Eisen, die Wärme leicht durch ihre Masse fortpflanzen, heissen gute, solche, die sich wie die Kohle verhalten, schlechte Wärmeleiter.

Man überzeugt sich leicht, und ohne andere Hülfe, als das Gefühl, dass die Metalle, und insbesondere die edlen, gute Wärmeleiter sind; dass Glas, Porzellan, Stein weit schlechter leiten, und dass Holz, Kohle, Wolle, Haare, Seide, Federn, Stroh u. s. w. zu den schlechtesten Leitern der Wärme gehören. Auch die Luft ist ein sehr schlechter Wärmeleiter, denn eine Luftschicht zwischen zwei leitenden Flächen, z. B. zwischen zwei Metallplatten, unterbricht die Fortpflanzung der Wärme fast gänzlich, während dieselben Platten, auf einander gelegt, die Wärme leicht durchlassen. Doppelte Wände, Thüren, Fenster.

Die guten Leiter erwärmen sich leicht, kühlen sich aber auch leicht ab. Die schlechten Leiter nehmen die Wärme weit langsamer auf, aber einmal erwärmt, halten sie dieselbe besser zurück. Die ersteren fühlen sich daher bei gleich niedriger Temperatur kälter, bei gleich hoher Temperatur wärmer an, als die letzteren. Handgriffe von Holz schützen vor Hitze; wollene, seidene Kleider halten warm, d. h. sie gestatten nicht einen raschen Abfluss der Körperwärme.

47. Der Uebergang der Wärme von einem Körper zum andern erfordert eine unmittelbare Berührung derselben nicht als nothwendige Bedingung, er kann vielmehr durch sehr beträchtliche Zwischenräume stattfinden. Die Wärmemittheilung aus der Entfernung heisst Strahlung (Wärmestrahlung).

Die Sonne erwärmt unsere Erde ausschliesslich durch Strahlung. Der Wärmeeindruck brennender oder glühender Körper, auch des heissen Stubenofens, auf die Umgebung geschieht vorzugsweise durch Strahlung.

Die strahlende Wärme unterscheidet sich von der geleiteten durch die Schnelligkeit ihrer Einwirkung, sobald wir dem Körper, der sie aussendet, gegenüber kommen.

Die ausführlichere Darstellung der Bewegungsgesetze der Wärme müssen wir uns für die Folge vorbehalten.

48. Der Wechsel der Temperatur eines Körpers ist stets von einer Veränderung seines Umfangs begleitet. Zunahme der Temperatur dehnt die Körper aus; bei abnehmender Temperatur zie-

hen sie sich zusammen, in der Weise, dass jeder durch seine ganze Masse gleichartige Körper für eine gewisse Temperatur auch einen gewissen Umfang hat. Diese Eigenschaft ist allen Körpern gemein. Die festen Körper werden aber weniger stark, als die Flüssigkeiten, und diese weniger stark, als die Gase ausgedehnt.

Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme ist eine unmittelbare Folge der Ausdehnsamkeit des Wärmestoffes und der Eigenschaft der wägbaren Materie, ersteren anzuziehen, wodurch die gegenseitige Abstossung seiner Theile auf die wägbaren Atome übertragen und wodurch die gegenseitige Anziehung der letzteren theilweise aufgehoben wird.

Man kann sich vorstellen, dass jedes Körperatom vermöge seiner Anziehung zu dem Wärmestoffe sich mit einer Atmosphäre von Wärme umgibt, deren Theile im Vergleich zu der Grösse des Atoms überaus klein sind, und welche folglich zu letzterem in weit näherer und innigerer Beziehung als zu anderen entfernter liegenden Körperatomen stehen können. Die Cohäsionskraft hat ihren Sitz in den Körperatomen selbst, sie ist von begränzter Grösse und ihre Wirksamkeit kann durch eine ihr gleiche und entgegengesetzte Kraft zernichtet werden. Die Expansionskraft haftet nicht an der wägbaren Materie selbst, sie ist nur eine Folge der gegenseitigen Abstossung der Wärmeatmosphären; sie muss daher mit der Temperatur, d. h. mit der Dichtigkeit des um jedes Körperatom herum vertheilten Wärmestoffes, zunehmen und je nach ihrer Grösse einen Theil der Cohäsion zernichten.

49. Da die Veränderungen der Temperatur eines Körpers stets von Aenderungen seiner räumlichen Grösse begleitet sind, so lässt sich auch umgekehrt aus den letzteren ein Schluss auf die ersteren ziehen. Jede Vorrichtung, geeignet, die von der Wärme abhängigen Zusammenziehungen und Ausdehnungen eines Körpers wahrzunehmen, kann daher als Anzeiger der Temperatur-Veränderungen. als Thermoscop dienen.

Ein Thermoscop heisst empfindlich, wenn es geringe Temperaturverschiedenheiten schnell und unzweideutig angibt.

Die empfindlichsten, auf die Ausdehnung der Körper gegründeten Wärmeanzeiger sind die Lufthermoscope.

Thermoscop von Cornelius Drebbel (Fig. 1). Differentialthermoscop von Leslie, Rumford (Fig. 2) und von Schmidt (Fig. 3). Das letzte gründet sich eigentlich nicht auf die Ausdehnung der Luft, sondern auf die des Aethers, wenn er in Dampfgestalt (Luftgestalt) übergeht.

Fig. 1.

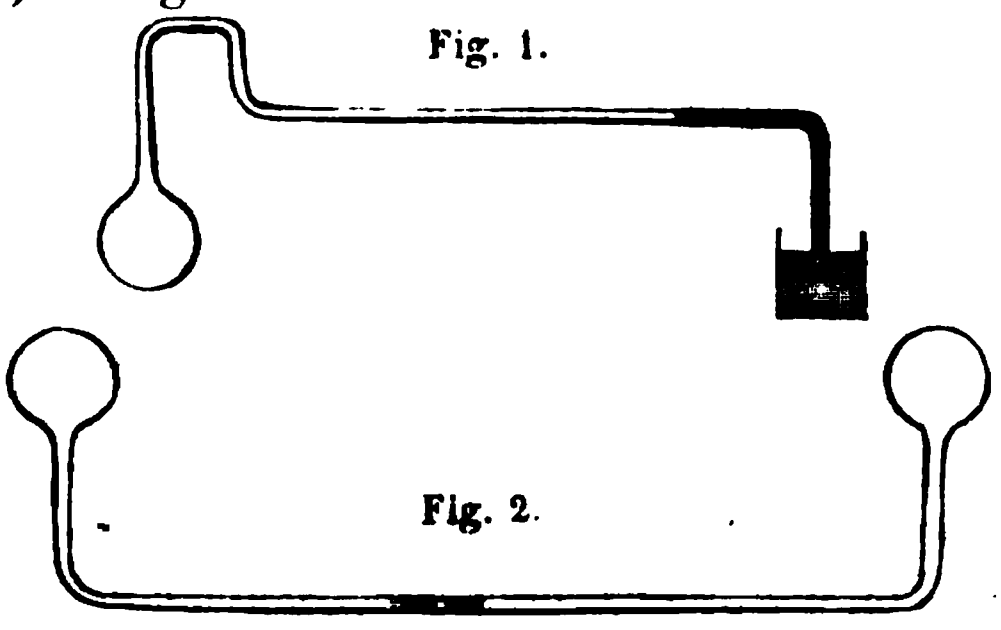


Fig. 2.

Fig. 3.

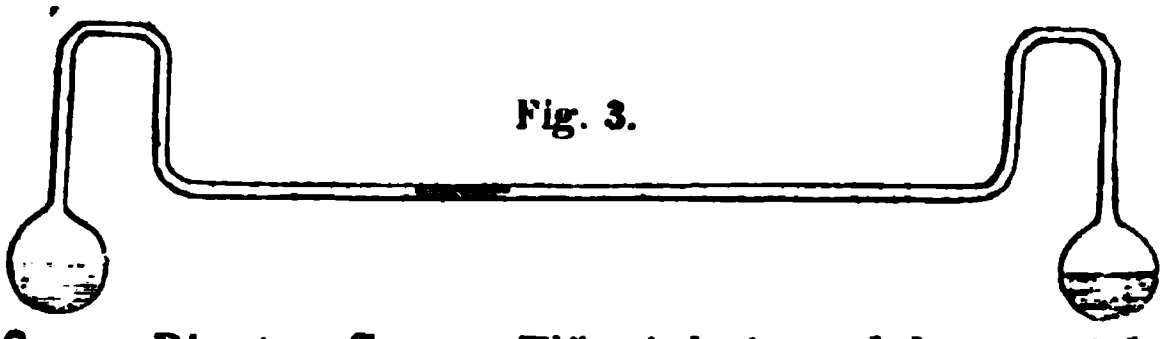
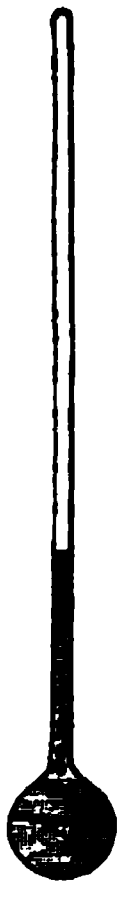


Fig. 4.



Die tropfbaren Flüssigkeiten dehnen sich, in eine wärmere Umgebung gebracht, nicht nur weit weniger, sondern auch weit langsamer aus, als die Gase. Um die Ausdehnung derselben recht deutlich wahrnehmbar machen und zur Anzeige von Temperaturverschiedenheiten benutzen zu können, müssen sie in kugelförmige oder cylindrische Glasbehälter von sehr geringem Umfange, die in ein cylindrisches, verhältnissmässig noch weit engeres Glasrohr ausgehen (Fig. 4), eingeschlossen werden. Je nach der angewendeten Flüssigkeit erhält man auf diese Weise: Weingeist-, Oel-, Quecksilberthermoscope u. s. w.

Vorkehrungen, wodurch der wirkliche Werth der Ausdehnung dem Auge vergrössert vorgestellt wird, sind noch nöthiger bei den festen Körpern, weil ihr Umfang durch die Wärme sehr wenig zunimmt.

50. Die festen Körper, indem sie sich ausdehnen, vermindern ihren Zusammenhang (ihre absolute Festigkeit nimmt ab) anfangs kaum bemerkbar, aber bei steigender Temperatur immer merklicher, und zuletzt treten fast alle, die einen früher, die andern später, in den flüssigen Zustand; sie **schmelzen**.

Unter den bekannteren Körpern ist die Kohle der einzige, welcher bis jetzt nicht geschmolzen werden konnte; wohl aber gibt es viele, die bei erhöhter Temperatur, noch ehe sie schmelzen konnten, eine chemische Zersetzung erleiden, d. h. in verschiedenartige Bestandtheile zerlegt werden.

Die Temperatur, wobei ein fester Körper flüssig wird, heisst sein **Schmelzpunct**. Diese Uebergangstemperatur ist bei den meisten Körpern sehr scharf bezeichnet. Umgibt man z. B. ein Thermoscop mit schmelzendem Eise oder Schnee, so bemerkt man zwar anfangs eine Aenderung des Volums der in dem Rohre enthaltenen Flüssigkeit, eine Zusammenziehung; sie hört aber bald auf, und es findet keine weitere Veränderung statt, so lange man auch den Versuch fortsetzen mag. Wir müssen hieraus schliessen, dass das Thermoscop die Temperatur seiner nächsten Umgebung, nämlich die des schmelzenden Eises, angenommen hat, und dass diese unveränderlich ist. Ganz ähnlich verhält sich ein Thermoscop im schmelzenden Schwefel, in einem schmelzenden Metalle und in andern schmelzenden Körpern. Die Schmelzpuncte der Körper sind also **feste Temperaturpuncte**.

51. Die festen Körper verflüssigen sich beim Eintritte ihrer

Schmelzpuncte nicht plötzlich durch ihre ganze Masse. Man findet vielmehr, dass nur ein Theilchen nach dem andern flüssig wird und sich von der festen Masse ablöst. Während der Dauer dieses Ueberganges behauptet nicht nur der noch fest gebliebene Theil, sondern auch der flüssig gewordene, die Schmelztemperatur.

Geschmolzene Körper kehren durch Abkühlung in den festen Zustand zurück, aber auch nicht plötzlich durch ihre ganze Masse. Es erstarrt vielmehr ein Theil nach dem andern. Auch während dieses Ueberganges und so lange noch flüssige Theile vorhanden sind, behauptet die ganze Masse eine feste Temperatur, nämlich die Schmelztemperatur.

Die schmelzbaren Körper haben also die merkwürdige Eigenschaft, jeder bei einer gewissen Temperatur, zugleich im festen und im flüssigen Zustande verweilen zu können, und diese Temperatur bleibt, von welcher Beschaffenheit auch die Umgebung seyn mag, unveränderlich, so lange noch flüssige und feste Theile desselben Körpers vermengt sind.

52. Flüssigkeiten, welche durch Einwirkung der Wärme keine chemische Zersetzung erleiden, werden bei genügender Erhöhung ihrer Temperatur verflüchtigt, d. h. sie gehen in den ausdehnsam flüssigen Zustand über, oder ihre Theile nehmen einen dem gasförmigen ähnlichen Zustand vollkommner Beweglichkeit und Ausdehnsamkeit an. Die unter dem Einflusse der Wärme gasförmig gewordenen Flüssigkeiten werden Dämpfe genannt.

Die Dampfbildung ist gewöhnlich von einem mehr oder weniger heftigen Aufwallen der Flüssigkeit begleitet, welches, wie eine genauere Beobachtung, hauptsächlich bei durchsichtigen Flüssigkeiten und in durchsichtigen Gefässen, lehrt, die Folge des Aufsteigens zahlreicher Glasblasen (Dampfblasen) ist, die sich unterhalb der flüssigen Oberfläche an den erhitzten Gefässwänden erzeugen. Diese Erscheinung heisst: das Sieden.

53. Jede chemisch reine Flüssigkeit, deren Zusammensetzung durch das Sieden nicht geändert wird, behauptet während der ganzen Dauer dieses Vorganges eine feste Temperatur. Man nennt sie ihren Siedpunct. Dieselbe Temperatur besitzen die Dämpfe, so lange sie vor dem abkühlenden Einflusse der äusseren Umgebung geschützt sind. Bei dieser und jeder stärkeren Erwärmung erscheinen sie vollkommen klar und durchsichtig, wiewohl nicht immer farblos. Da sie, wie die Luft, Spannkraft und einen hohen Grad von Beweglichkeit besitzen, so verdrängen sie allmählig die Luft aus der nächsten Umgebung der siedenden Flüssigkeit, dergestalt, dass aus einem Gefässe, worin man z. B. Wasser oder Weingeist im Sieden erhält, zuletzt alle Luft vertrieben wird.

Durch Abkühlung kehren die Dämpfe in den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit zurück.

Daher das Ansetzen von Tropfen an den Innenwänden der Siedegefässe und an jedem kälteren Körper, der mit den aufsteigenden Dämpfen in Berührung kommt; daher die Bildung von Nebeln über der siedenden Flüssigkeit überall da, wo die Dämpfe sich mit der kälteren Luft vermengen.

Das Quecksilberthermometer.

54. Ein beliebiger, übrigens durchaus gleichartiger Körper, dessen lineare Dimensionen bei einem festen Temperaturpuncte gemessen sind, wenn er nachher höher erwärmt oder abgekühlt wird, und dadurch seinen Umfang geändert hat, erhält, zu derselben festen Temperatur zurückgebracht, genau wieder dieselben Dimensionen wie früher. Jeder Körper besitzt also die Eigenschaft, für eine gewisse Temperatur einen gewissen Umfang anzunehmen, der mit derselben Temperatur auch regelmässig wiederkehrt.

Aus dem bei irgend einer Temperatur gemessenen Rauminhalte eines Körpers (z. B. der Flüssigkeit des Thermoscops) können wir folglich den Wiedereintritt derselben Temperatur mit Sicherheit nachweisen, und wir gewinnen durch die Berücksichtigung dieses Erfahrungsgesetzes ein wirkliches Mass zur Bestimmung von Temperaturverschiedenheiten, ganz von derselben Genauigkeit, wie unsere Hülfsmittel, räumliche Verschiedenheiten zu messen.

55. Jede Vorrichtung, die dazu dient, die Umfangsveränderungen, welche ein Körper durch die Einwirkung der Wärme und zwar zwischen festen Temperaturgränzen erfährt, sicher und mit befriedigender Genauigkeit zu messen, und die eben dadurch die Möglichkeit verschafft, gewisse Temperaturen immer wieder zu erkennen, heisst Thermometer oder Wärmemesser.

56. Unter allen derartigen Vorrichtungen hat man das Quecksilberthermometer als das brauchbarste erkannt. Es besteht aus einem sehr engen cylindrischen Glasrohr (gewöhnlich einem Haarröhrchen), welches in gleiche Raumtheile abgetheilt, am einen Ende zu einem, im Verhältnisse zum innern Durchmesser des Rohres sehr geräumigen, reines Quecksilber enthaltenden Gefässe erweitert, am andern Ende aber zugeschmolzen ist. Der Behälter ist bald kugelförmig, bald cylindrisch und bis zu irgend einem Theilstriche des Rohres mit dem Quecksilber vollständig ausgefüllt. Der cylindrische Raum über dem letzteren ist luftleer.

Durch Erwärmen steigt das Quecksilber über den Theilstrich, in dessen Höhe es zuerst beobachtet wurde. Bei'm Erkalten sinkt es unter denselben.

Auf der getheilten Linie, welche die gleichen Abtheilungen des Rohres bezeichnet, der sogenannten Scala des Thermometers, sind zwei feste Temperaturpuncte, nämlich der des schmelzenden Eises und der des siedenden Wassers, besonders angemerkt. Der Unterschied zwischen diesen beiden festen Temperaturen ist die

Grundeinheit des Masses für alle Wärmemessungen. Es ist einleuchtend, dass, so ungleich auch die lineare Entfernung dieser beiden Puncte bei verschiedenen Thermometern seyn mag, die zwischen beiden enthaltene Quecksilbermenge doch stets denselben proportionalen Theil des ganzen Quecksilberinhaltes oder dieselbe Ausdehnungsgrösse ausmachen muss. Dasselbe gilt aber auch für die Hälfte, das Drittel und überhaupt jeden Bruchtheil dieser Länge.

Man pflegt den Raum zwischen beiden festen Puncten nicht in eine willkührliche, sondern durch Uebereinkunft bestimmte Anzahl gleicher Unterabtheilungen oder Grade zu bringen.

Das Celsius'sche Thermometer hat vom Schmelzpuncte bis zum Siedpuncte 100 Grade; das Reaumür'sche 80 Grade. Bei beiden ist der Schmelzpunct des Eises mit 0 bezeichnet, und von da aus werden die Grade aufwärts und abwärts gezählt. Zur Unterscheidung, wo Zweifel entstehen könnten, setzt man den ersteren das Zeichen +, den letzteren das Zeichen — vor.

Es ist noch eine dritte Thermometerscala, die Fahrenheit'sche (insbesondere in England) gebräuchlich. Bei dieser wird der Schmelzpunct mit 32, der Siedpunct mit 212 bezeichnet; zwischen beiden liegen also 180 Grade.

In diesem Buche ist bei Temperatur-Angaben, wo etwas Anderes nicht ausdrücklich bemerkt wird, stets die Celsius'sche oder hunderttheilige Scala gemeint. Reductionen der drei Thermometerscalen auf einander werden sehr häufig nothwendig. Sie geschehen leicht, indem man sich erinnert, dass 10° C. = 8° R. = 18° F. sind, und indem man zu den auf Grade F reducirten Abtheilungen der andern Scalen jedesmal 32 hinzufügt, dagegen von der beobachteten Zahl Fahrenheit'scher Grade vor der Reduction auf eine der andern Scalen, jedesmal 32 abzieht.

Die Güte und Brauchbarkeit eines Quecksilberthermometers hängt davon ab, ob die Scala unverrückbar und dem Einflusse der Witterung nicht unterworfen ist (am besten wird die Theilung auf dem Thermometerrohr selbst angebracht); ob die Unterabtheilungen genau gleichen Raumtheilen entsprechen (Correctionsmethode von Bessel, Pogg. Ann. 6, S. 287; Schumacher's Astronomisches Jahrbuch für 1843. S. 66); ob der Schmelz- und Siedpunct richtig angebracht sind (Verrückung des Gefrierpunctes, Pogg. Ann. 16, S. 335); ob sich nirgends zwischen dem Quecksilber Schmutz, Feuchtigkeit oder Luft eingenistet hat, endlich ob das Instrument einen genügenden Grad der Empfindlichkeit besitzt.

57. Die Beurtheilung der Temperatur eines Körpers mittelst des Thermometers oder aus der Ausdehnung des Quecksilbers beruht auf dem Erfahrungssatze, dass ersterer mit letzterem in Berührung gebracht, demselben entweder von seiner eigenen Wärme mittheilt, oder auf dessen Unkosten sich selbst erwärmt. Die Masse des Thermometers darf daher immer nur einen kleinen Bruchtheil von derjenigen Masse betragen, deren Temperatur erforscht werden soll.

Mass der Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

1. Feste Körper.

58. Die Ausdehnung fester Körper durch die Wärme zwischen 0 bis 100° und selbst mehrere Grade unter 0 und über 100° hält gleichen Schritt mit der des Quecksilbers im Thermometer. Mit andern Worten: die Zunahmen des räumlichen Inhaltes fester Körper verhalten sich wie die Zunahmen der Temperatur.

Z. B. eine Messingstange von 540 Linien Länge, bei 0° gemessen, die von 0—10° um 0,1 Linie sich verlängert, wird von 0—20° sich um 0,2 Lin. ausdehnen, bei —10° wird sie nur 539,9 Linien lang seyn u. s. f.

59. Verschiedene feste Körper dehnen sich zwischen gleichen Temperaturgränzen ungleich stark aus.

Z. B. zwischen 0—100° beträgt die Verlängerung einer Zinkstange $^1/_{333}$, die einer Glasstange $^1/_{1161}$ der Länge bei 0° (Siehe Taf. IV).

Diese ungleiche Ausdehnbarkeit bewirkt, dass vershiedenartige Metallstreifen, die man der Länge nach zusammenlöthet, sich bei jeder Temperaturveränderung krümmen, und dass Verbindungen verschiedenartiger fester Körper, wie Mauerwerk mit Eisen u. d. m., wenn nicht jeder derselben dem ihm eigenthümlichen Bestreben, sich auszudehnen und zusammenzuziehen, frei nachgeben kann, in keinem dauernden Zusammenhange bleiben können; denn die Ausdehnung und Zusammenziehung fester Körper geht mit einer ausserordentlich grossen, fast unwiderstehlichen Gewalt vor sich. Feste Körper, die bei der Erwärmung verhindert werden sich auszudehnen, verhalten sich gerade so, als würden sie durch äussere Kräfte zusammengedrückt; beim Erkalten verhindert, sich zusammenzuziehen, treten ihre Theile in einen ähnlichen Zustand der Spannung, wie er durch dehnende Kräfte herbeigeführt wird. Daher Zerreissen, oder doch Vermehrung der Sprödigkeit. Stahl durch das Härten, auch Glas durch rasches Abkühlen werden specifisch leichter und spröde (Glasthränen). Ungleiche Erwärmung und dadurch ungleiche Ausdehnung an verschiedenen Stellen desselben Körpers bewirkt häufig Störung des Zusammenhanges, z. B. bei Glasgefässen.

60. Man hat hauptsächlich die Längenausdehnung fester Körper gemessen. Eine genaue Bestimmung derselben wird dadurch erschwert, weil die zu messende Veränderung immer nur einen kleinen Bruchtheil der anfänglichen Länge ausmacht und weil, während die Temperatur des zu prüfenden Körpers erhöht wird, diejenige des Massstabes unverändert bleiben muss. Man hat übrigens diesen Schwierigkeiten auf verschiedene Weise zu begegnen gewusst. (Gehl. 1, S. 553.)

a) Die Stange, deren Ausdehnung gemessen werden soll, hängt in wagerechter Lage in einem Troge, der Wasser oder Oel enthält und durch darunter gesetzte Spirituslampen erwärmt werden kann. Parallel damit befindet sich auf demselben Gestelle ein zweiter Trog und darin ein Stab von Eisen, welcher als unveränderliche Grundlage dienen soll und daher mit schmelzendem Eise fortdauernd umgeben bleibt. Von diesem Stabe gehen drei winkelrecht daran befestigte Arme nach dem andern Troge hin. Zwei davon halten die zu prüfende Stange, und der erste dient zugleich als feste Widerlage für dieselbe. Der dritte trägt eine Mikrometerschraube, welche in der Richtung der Stange, einem vom Ende der letzteren aufgerichteten

Stücke genähert, oder davon entfernt werden kann. Mittelst dieser Schraube, wenn ihre Gänge ganz gleichförmig sind, und man genau weiss, wie viele z. B. auf die Länge eines Zolles gehen, lässt sich die Ausdehnungsgrösse für eine beliebige Anzahl Temperaturgrade messen und als Bruchtheil der bekannten Länge der Stange bei 0° in Rechnung bringen.

b) Zwei Stangen von verschiedenem Stoffe, z. B. Platin und Kupfer, aber von gleicher Länge, werden auf einander gelegt und am einen Ende unverrückbar erhalten. Bei veränderter Temperatur werden beide nicht mehr gleich lang seyn. Der Unterschied zeigt an, um wie viel die eine Stange sich stärker ausdehnt als die andere. Kennt man daher das Ausdehnungsgesetz von nur einer Stange, so ergibt sich das der andern durch einfache Addition oder Subtraction. Um die immer nur kleinen Längenunterschiede bequem und genau messen zu können, ragt an dem verrückbaren Ende jeder Stange ein winkelrecht aufsteigender Arm aus dem Bade, worin beide Stangen gleichförmig erwärmt werden, hervor. Diese Arme tragen in wagerechter Lage zwei kleine neben einander herlaufende Massstäbe, von welchen der eine den Nonius des andern bildet.

Angenommen, beide Stangen sind bei 0° gleich lang und ihre Längenverschiedenheiten bis zu gewissen Temperaturgränzen, z. B. bis 20° unter 0 u. 30° über 0 sind gemessen, so lässt sich rückwärts aus dem Stande beider Theilungen neben einander, auf die Höhe der Temperatur schliessen. Diese Verrichtung bildet also eine Art Thermometer. Borda's Massstab.

c) Das eine Ende der in wagerechter Lage in ein Bad gesenkten Stange lehnt sich gegen eine feste Widerlage, das andere Ende drückt auf den kurzen Arm eines Zeigers, der um eine feste Axe drehbar ist, so dass die entsprechenden Verrückungen des langen Armes hinlänglich vergrössert sind, um (zumal mit Zuziehung des Nonius) eine sehr genaue Messung zu gestatten. Ist der hierzu erforderliche Massstab weit genug entfernt, oder hat man auf andere Weise Sorge getragen, um seine Temperatur unverändert zu erhalten, kennt man ferner das Verhältniss beider Arme des Zeigers, und ist der Abstand seiner Axe von der festen Widerlage unveränderlich, d. h. stützen sich beide Puncte auf eine unveränderliche Grundlage, z. B. auf eine kalt erhaltene Platte oder auf den Erdboden selbst, so sind wiederum alle Erfordernisse zu einer genauen Messung der Ausdehnung erfüllt (Biot 1, S. 146).

Man hat ausser den angeführten noch andere Methoden ersonnen, die Längenausdehnung fester Körper zu bestimmen. Im Allgemeinen kann jede Messung, welche mit der Ausdehnung eines Körpers in einer festen und bekannten Beziehung steht, ein Hülfsmittel werden, die letztere zu finden.

61. Aus der bekannten Längenausdehnung eines festen Körpers lässt sich seine räumliche Ausdehnung finden, indem man die erstere mit 3 multiplicirt.

Bedeutet nämlich n die Ausdehnungsgrösse für die Längeneinheit und etwa für 1° C vom Schmelzpunct des Eises an gerechnet, so ist $l(1+n)$ die Veränderung der Länge l, und $V(1+n)^3 = V(1+3n+3n^2+n^3)$ die Aenderung des räumlichen Inhaltes V für einen Thermometergrad. Da nun n stets ein sehr kleiner Bruch ist, so wird der wahre Inhalt für 1° über 0 hinlänglich genau durch $V(1+3n)$ ausgedrückt. Z. B. die lineare Ausdehnung des Glases beträgt zwischen 0—100°, $^1/_{1161}$ der Länge bei 0°; die körperliche Ausdehnung ist $^3/_{1161} = ^1/_{387}$.

Diese Regel gilt nur für solche Stoffe, die sich nach jeder Richtung gleichförmig ausdehnen, wie für gegossene Metalle und Glas. Viele krystallisirte Körper aus den ungleichaxigen Systemen dehnen sich in der Richtung ihrer verschiedenen Axen ungleich aus. Ihre Volumenausdehnung kann folglich nicht durch Rechnung ermittelt werden.

59. Der Bruch, welcher zwischen gewissen Temperaturgränzen (z. B. 0 — 100°) das Verhältniss der Ausdehnung eines Kör-

pers zu seiner anfänglichen Grösse ausdrückt, wird Ausdehnungscoefficient genannt. Kennt man den Ausdehnungscoefficienten eines Körpers, so lässt sich die Grösse der Ausdehnung aller Körper von gleichartigem Stoffe durch Rechnung bestimmen.

Z. B. der Ausdehnungscoefficient des Messings, $^1/_{54000}$ sagt, dass eine Messingstange von 54,000 Linien Länge, bei 0° gemessen, für jeden Temperaturgrad auf oder ab sich um 1 L. verlängert oder verkürzt, folglich bei t° seyn wird 54000 + t. Eine andere Stange von der Länge l bei 0° gemessen, muss sich also in demselben Verhältnisse verlängern wie 54000 : 54000 + t.

Diese Rechnung kommt bei allen genauen Längenmessungen vor, indem der gebrauchte Massstab nur für eine gewisse Temperatur richtig seyn kann. Der Pariser Fuss z. B. hat seine wahre Länge bei 16°,25. Eine Länge l bei t° gemessen, erfordert daher eine Berichtigung, die sich aus der Betrachtung ergibt, dass

$$54000 + 16{,}25 : 54000 + t = l : (x = \frac{(54000 + t)\, l}{54000 + 16{,}25}$$

Der räumliche Inhalt der Hohlmasse, so wie aller Gefässe wechselt auch mit der Temperatur. Der direct gemessene Inhalt wird daher häufig nur einen scheinbaren ausdrücken. Wie gross ist z. B. der wahre Rauminhalt eines Glasgefässes bei t°, wenn derselbe bei T°, V. C. C. betragen hat? Dies wird beantwortet durch die Proportion: 38700 + T : 38700 + t = V : x.

63. Wenn feste Körper bis gegen 150° hin oder darüber erwärmt, oder auch unter —20° abgekühlt werden, so halten die Aenderungen ihres räumlichen Inhaltes weder unter einander, noch mit der des Quecksilbers im Thermometer gleichen Schritt; sie sind nicht mehr den durch das Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturen proportional.

Z. B. die Ausdehnung des Glases beträgt zwischen 0—100°: $^1/_{1161}$, zwischen 100—200°: $^1/_{1020}$, zwischen 0—300°: $^1/_{840}$ der bei 0° gemessenen Länge. Der Ausdehnungscoefficient des Glases nimmt also bei hohen Temperaturen an Grösse zu. Ein ähnliches Verhalten ist bei andern festen Körpern beobachtet worden.

64. Auf der Ausdehnung der Metalle beruhen mehrere thermometrische Vorrichtungen, die sogenannten Metallthermometer. Sie bestehen theils aus einem einzigen, theils aus zwei verschiedenartigen, der Länge nach zusammengelötheten, dünnen, spiralförmig gewundenen Metallstreifen, die an einem Ende befestigt sind, am andern mit einem im Kreise beweglichen Zeiger in Verbindung stehen. Man pflegt sie nach den Anzeigen des Quecksilberthermometers zu graduiren. Die nach den Vorschriften von Breguet *), Holzmann, Urban Jürgensen **) verfertigten sind die bekanntesten. Sie haben gewöhnlich das Format von Taschenuhren. Da sie eine ziemlich grosse Empfindlichkeit besitzen, so werden sie zuweilen benutzt, um rasch wechselnde Temperaturen zu erfassen.

65. Wenn Metallthermometer bestimmt sind, vorzugsweise hohe Temperaturen zu messen, so erhalten sie den Namen Pyrometer.

---

*) Schweigg. Journ. XXXII. Nr. 497; auch Gehl. B. 9, S. 990.

**) Urban Jürgensen, allgemeine Grundsätze der genauen Zeitmessung, Leipzig 1840.

Für die Messung von Temperaturen über 400° wird das Quecksilberthermometer unbrauchbar, weil das Glas in stärkerer Hitze zu erweichen beginnt. Man hat daher mancherlei Vorrichtungen ersonnen, um diesen Mangel zu ersetzen. Zu den besseren Pyrometern gehört das Daniell'sche. Es besteht aus einer Stange von Platin oder Eisen, die in einer Hülse von Graphit oder Porzellan eingeschlossen ist, welche man unmittelbar der zu prüfenden hohen Temperatur aussetzt. Das eine Ende des Platins ruht auf dem Boden der Hülse, das andere drückt auf eine Porzellanstange, die gleichsam die Verlängerung der Platinstange bildet. Da sich Platin stärker ausdehnt als Graphit und Porzellan, so schiebt es durch Erhöhung seiner Temperatur die Porzellanstange vorwärts. Unmittelbar aus der veränderten Lage der letzteren, oder mittelbar aus der Bewegung eines Zeigers, auf dessen einen Arm die Porzellanstange drückt, lässt sich dann die eingetretene Veränderung der Temperatur erkennen (Pogg. Ann. 39, S. 577). Pyrometer können wohl geeignet seyn, um gewisse Hitzegrade mit Sicherheit wiederzufinden. Die Anzeigen der bis jetzt bekannten derartigen Werkzeuge gestatten jedoch keine ganz sicheren Vergleichungen mit den Graden des Quecksilberthermometers.

2. Tropfbare Flüssigkeiten.

66. Verschiedene Flüssigkeiten dehnen sich ungleich stark aus, und die Vermehrungen ihres Volums verhalten sich (selbst zwischen 0 — 100°) nicht wie die mit dem Quecksilberthermometer gemessenen Temperaturzunahmen.

Thermometer aus verschiedenen Flüssigkeiten verfertigt, bei welchen allen der Raum zwischen den beiden festen Puncten in 100 gleiche Grade getheilt ist, geben daher keine übereinstimmenden Resultate. Für ganz gleiche Temperaturen erhält man z. B. mittelst eines Thermometers aus

Quecksilber.	Alkohol.	Olivenöl.	Wasser.	Gesättigtem Salzwasser.
100	100	100	100	100
75	70,25	74,1	57,25	71,4
50	44	49	25,6	45,4
25	20,6	24,1	5,1	21,6
0	0	0	0	0

Thermometer, bei welchen als Flüssigkeit Weingeist angewendet wird, Weingeistthermometer, gebraucht man häufig. Es ist nun einleuchtend, dass ein solches Werkzeug, um mit dem Quecksilberthermometer vergleichbare Anzeigen geben zu können, nicht in gleiche Grade eingetheilt werden darf. Das Weingeistthermometer wird hauptsächlich zur Messung sehr niedriger Temperaturen benutzt, weil concentrirter Weingeist nicht friert.

67. Um das Ausdehnungsgesetz einer Flüssigkeit zu erforschen, gibt es im Allgemeinen zwei Wege:

1) **Eine gewisse Menge derselben, deren räumlicher Inhalt bei irgend einer Temperatur, etwa bei 0°, bekannt ist, wird nach und nach verschiedenen Temperaturen ausgesetzt und die jedesmalige Raumvergrösserung gemessen. Das Verhältniss der Ausdehnung zum anfänglichen Volume ergibt sich auf diese Weise unmittelbar.**

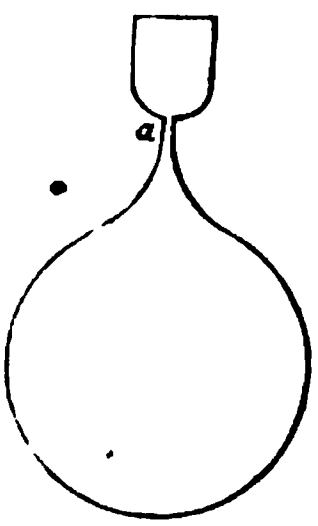
Beispiel: Man hat ausgemittelt, dass der Inhalt des Behälters eines Queck-

silberthermometers bis zum 0Puncte hin 65mal so gross ist, als der Inhalt des cylindrischen Rohres vom Schmelzpuncte bis zum Siedpuncte. 65 Raumtheile Quecksilber, bei 0° gemessen, nehmen folglich bei 100° den Raum von 66 ein, oder die Ausdehnung des Quecksilbers zwischen beiden Gränzen beträgt $^1/_{65}$ des anfänglichen Umfangs.

2) Die Dichtigkeit der Körper wird in demselben Verhältnisse geringer, als ihr Rauminhalt sich vergrössert. Das gerade Verhältniss der Dichtigkeit einer Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen ist folglich das umgekehrte ihrer durch dieselben Temperaturen veränderten Volume, d. h. man findet die Ausdehnung eines flüssigen Körpers zwischen irgend zwei Temperaturen, indem man sein specifisches Gewicht bei der niedrigsten durch dasjenige bei der höchsten dividirt.

Beispiel: Ein Glasgefäss, wie Fig. 5 gestaltet und von bekanntem Gewichte wird bis zum Puncte a, wo der äussere Trichter sich zu einer sehr engen Oeffnung zusammenzieht, mit kaltem Wasser von 0° gefüllt. Die Menge betrage 124 Grm. Dieses Gefäss werde hierauf in einem geeigneten Bade einer höheren Temperatur, z. B. der von 100° so lange ausgesetzt, als von der Flüssigkeit durch die Oeffnung bei a austritt. Der Trichter von aller innen anhängenden Flüssigkeit befreit, das Gefäss wohl abgetrocknet und wieder gewogen, findet man nur 118 Grm. Also 118 Raumtheile haben sich in 124, oder jeder Raumtheil in $1\,^6/_{118}$ verwandelt. Die Ausdehnung des Wassers zwischen 0—100° beträgt $^6/_{118}$ des Umfanges bei 0°.

Fig. 5



Wenn das Ausdehnungsgesetz einer Flüssigkeit bereits bekannt ist, so lässt sich aus den Gewichten eines gleichen Volums derselben bei zwei verschiedenen Temperaturen der Unterschied der letzteren berechnen. Gewichtsthermometer.

68. Die beobachtete Volumsvergrösserung der Flüssigkeiten in Gefässen entspricht nicht ihrer wahren Ausdehnung; diese ist vielmehr immer etwas grösser; um so viel nämlich, als die Erweiterung des Gefässes selbst beträgt.

Z. B. der Ausdehnungscoefficient des Glases $^1/_{387} = 0{,}00255$ drückt aus, dass die Einheit des Rauminhaltes eines Glasgefässes, durch Erhöhung der Temperatur von 0 zu 100° sich verändert in 1,00255. 65 Raumtheile Quecksilber (67) in einem Glasgefässe von 0—100° erwärmt, werden folglich nicht 66, sondern 66 (1,00255), d. h. 66 + 66 (0,00255); die entsprechende Ausdehnung des Quecksilbers ist mithin

$$^1/_{65} + \overset{66\ (0{,}00255)}{\underset{65}{\qquad}} = 0{,}0154 + 0{,}0026 = 0{,}018.$$

0,0154 nennt man den scheinbaren, 0,018 den absoluten Ausdehnungscoefficienten des Quecksilbers.

Es sey im Allgemeinen α die scheinbare Ausdehnung der Raumeinheit eines flüssigen Körpers, so wird dessen wahre Ausdehnung bestimmt, indem man den scheinbaren Raum $1 + \alpha$ mit dem Ausdehnungscoeficienten der Gefässmaterie (bei'm Glase mit 0,00255) multiplicirt und dieses Product zu α addirt.

69. Das Wasser unterscheidet sich von andern Flüssigkeiten durch die merkwürdige Eigenschaft, dass es sich bei'm Erkalten

nur bis zu der Temperatur von 4° zusammenzieht, dann aber wieder ausdehnt; folglich bei 4° eine grösste, bei den Temperaturen von 0 und 8° aber ungefähr gleiche Dichtigkeit besitzt. Diese Eigenthümlichkeit des Wassers ist in dem Haushalte der Natur von sehr grosser Bedeutung.

Wenn das Wasser irgend ein Salz aufgelöst enthält, so liegt die Temperatur seiner grössten Dichtigkeit stets niedriger als 4°, z. B. im Meerwasser, das bei 0° nicht friert, liegt sie schon mehrere Grade unter 0. Auch reines Wasser lässt sich bei Temperaturen unter 0ja selbst bis zu — 10° im flüssigen Zustande erhalten, indem es mit der sinkenden Temperatur stets sein Volum vergrössert.

1 Kub. Cent. Wasser im Zustande seiner grössten Dichtigkeit bildet unter dem Namen Gramme die Einheit des französischen Gewichtssystemes. (Ueber die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten siehe Tafel IV.)

Wasser und Quecksilber, deren Ausdehnungsgesetze bei den gewöhnlich vorkommenden Temperaturen sehr genau bekannt sind, werden häufig angewendet, um den Inhalt der Glasgefässe zu messen. Man wiegt zu dem Ende das Gefäss zuerst leer, füllt es hierauf mit der Flüssigkeit bei einer bekannten Temperatur an, und wiegt wieder. Aus der Gewichtszunahme lässt sich dann der Inhalt berechnen. Beispiel: Das Glasgehäuse eines Thermometers wog 10,8 Grm.; mit Quecksilber bei 15° gefüllt, 37,427; Quecksilberinhalt 37,427—10,8 = 26,627 Grm. *). Ein Kubikcentimeter Quecksilber von 0° wiegt 13,598 Grm.; die wahre Ausdehnung des Quecksilbers beträgt für jeden Thermometergrad 0,00018 des Volums bei 0°; 13,598 Grm. werden daher bei 15° den Raum von $1 + 0{,}00018 . 15 = 1{,}0027$ C. C. einnehmen. Obige 26,627 Grm. entsprechen demnach einem Rauminhalte von 1,9634 C. C. bei der Temperatur von 15°.

Bei geräumigeren Gefässen kann man als Messflüssigkeit chemisch reines Wasser benutzen, verfährt übrigens dabei auf ähnliche Weise wie vorher. Da sich das Wasser sehr unregelmässig ausdehnt, so genügt es jedoch nicht, das Gewicht von 1 C. C. desselben bei 0° zu kennen, sondern es bedarf einer Tabelle, worauf das specifische Gewicht dieser Flüssigkeit für jeden Temperaturgrad bemerkt ist. (Siehe Tafel III, 2.)

Ist die Einmündung eines Gefässes zu enge, um die Flüssigkeit unmittelbar eingiessen zu können, wie bei den Thermometerröhren, so verbindet man mit dieser engen Oeffnung auf passende Weise einen weiteren offenen Behälter. Man setzt z. B. (Fig. 6) mittelst eines Korkstöpsels ein weiteres Glasrohr an. Bringt man in dieses das Wasser oder Quecksilber, und erwärmt den unteren Behälter, so dehnt sich die enthaltene Luft aus und entweicht zum Theil. Sie wird beim Erkalten durch eine entsprechende Menge Flüssigkeit ersetzt. Von Neuem bis zum Sieden erhitzt, bilden sich Dämpfe, die bald alle Luft vertreiben, so dass bei abermaligem Abkühlen der ganze innere Raum sich mit der Flüssigkeit anfüllt.

Fig. 6.

Der Rauminhalt eines Glasgefässes wird aus dem Gewichte der darin enthaltenen Flüssigkeit nur für eine bestimmte Temperatur gefunden. Wiederholt man den Versuch bei einer andern Temperatur, und darf man die absolute Ausdehnung des Quecksilbers zwischen beiden Temperaturen als ganz genau bekannt voraussetzen, so lässt sich daraus die räumliche Erweiterung des Glasgefässes zwischen denselben Temperaturgränzen be-

---

*) Da das von Quecksilber leere Gehäuse Luft enthält, so muss deren Gewicht eigentlich in Abzug gebracht werden. Auf welche Art dies geschieht, kann jedoch erst später gezeigt werden.

rechnen. Man hat auf diese Weise gefunden, dass der Ausdehnungscoefficient für verschiedene Glasarten und sogar für dieselbe Glasart bei verschiedener Form der Gefässe und Dicke der Wände nicht ganz gleich ist. (Regnault in Pogg. Ann. 55, S. 584.)

3. Ausdehnsame Flüssigkeiten.

70. Die Ausdehnung der Luft und der Gase im Allgemeinen kann auf ähnliche Weise, wie die der tropfbaren Flüssigkeiten, gemessen werden. Man hat gefunden, dass zwischen dem Schmelzpuncte des Eises und dem Siedpuncte des Wassers die Volumsvermehrung der Gase mit der des Quecksilbers im Thermometer gleichmässig fortschreitet, oder für je gleiche Temperaturunterschiede einen gleichen Bruchtheil des Volums bei 0^0 ausmacht; dass die Ausdehnung ein und desselben Gases und zwischen denselben Temperaturgränzen (z. B. zwischen 0 bis 100^0) von seiner anfänglichen Dichtigkeit unbhängig ist; dass alle gasförmigen Körper zwischen gleichen Temperaturgränzen sich gleich stark ausdehnen. Der Ausdehnungscoefficient der Gase beträgt nach den neuesten Bestimmungen für jeden Grad des hunderttheiligen Thermometers $0{,}003665 = 1/273 = 11/3000$ des Umfanges bei 0^0 (Magnus, Regnault).

Das Gesetz der gleichförmigen Ausdehnung aller Gase, sowie desselben Gases bei ungleicher Dichte, scheint nach den Ergebnissen der neuesten Versuche nur annähernd wahr zu seyn. Denn man hat gefunden, dass der Ausdehnungscoefficient mehrerer Gase, als man sie im Zustande einer grösseren anfänglichen Dichte prüfte, um einen, wenn auch äusserst geringen, Betrag zugenommen hatte; ferner, dass Sauerstoff sich etwas stärker ausdehnt, als der weit feinere Wasserstoff, dass aber insbesondere kohlensaures und schwefligsaures Gas (welche durch starken äusseren Druck flüssig gemacht werden können) einen ziemlich bemerkbar grösseren, mit der Dichtigkeit zunehmenden Ausdehnungscoefficient besitzen.

Alle diese Beobachtungen sind jedoch mit Gasen gemacht worden, die in Glasgefässen eingeschlossen waren. Das Glas äussert gegen die meisten dieser Stoffe eine beträchtliche, bei zunehmender Temperatur abnehmende Adhäsion, d. h. kleine Antheile derselben verdichten sich auf der Oberfläche des Glases, wenn die Temperatur niedrig ist, und verflüchtigen sich wieder bei'm Erwärmen. Fänden jene beobachteten Unregelmässigkeiten ihren Grund nicht in diesem zufälligen Umstande, so sollte man eher erwarten, dass die feineren Gasarten, nicht aber dass gerade die dichtesten sich am stärksten ausdehnen.

Zwischen den Theilen der ausdehnsamen Flüssigkeiten scheint jede Spur einer gegenseitigen Anziehung verschwunden zu seyn. Ihr Bestreben, sich von einander zu entfernen, muss daher in demselben Verhältnisse zunehmen, als die Ursache dieses Bestrebens, nämlich die Dichtigkeit der aufgenommenen Wärme, mit einem Worte, als die Temperatur (44) sich vermehrt. Der Grund der grossen Uebereinstimmung im vorher erwähnten Verhalten aller gasförmigen Körper und bei jeder Dichte derselben, bei welcher der elastisch flüssige Zustand (40) sich erhält, fliesst hieraus als eine nothwendige Folge.

Die Stärke, womit sich feste nnd flüssige Körper ausdehnen, ist das Resultat einer zusammengesetzten Einwirkung, nämlich der durch Wärmeaufnahme vermehrten Expansionskraft und des Widerstandes der Cohäsion. Der Zusammenhang der Theile wird durch vermehrten Wärmezufluss, ähnlich wie durch angehängte Gewichte (35), allmählig aufgehoben; diess kann jedoch auf keine

der zunehmenden Dichtigkeit der Wärme genau proportionale Weise geschehen, weil sich die gegenseitige Anziehung der Körperatome auch durch Vergröserung des Abstandes vermindert. Es ist demnach vorauszusehen, dass der Ausdehnungscoefficient fester und flüssiger Körper mit der Temperatur wachsen muss.

71. Da die Volumserweiterungen gasförmiger Körper durch die Wärme, so weit sie sich unabhängig von zufälligen fremdartigen Einflüssen beobachten lassen, der wirklichen Zunahme der Wärmedichtigkeit genau proportional seyn müssen, so betrachtet man sie als das sicherste Mittel, die wahre Höhe der Temperatur zu erforschen. Vorrichtungen zu diesem Zwecke geeignet, werden Lufthermometer genannt.

Man hat die Luft als thermometrische Flüssigkeit auf mancherlei Weise anzuwenden gesucht. Um von dieser Anwendung eine deutliche Vorstellung zu geben, genügt die Beschreibung des folgenden Verfahrens. Fin cylindrisches Glasrohr von 2 bis 3 Kubikzoll Inhalt, etwa 1 Zoll weit, 4 Zoll lang, ist am einen Ende zugeschmolzen, am andern ist ein Haarrohr angelöthet, das zu einer feinen Spitze ausgezogen ist (Fig. 7.).

Fig. 7.

Der so gebildete Behälter, mit ganz trockner Luft angefüllt, wird der Temperatur, die gemessen werden soll, ausgesetzt, und wenn man sicher ist, dass durch die feine Oeffnung keine Luft mehr entweicht, diese mittelst der Flamme einer Spirituslampe zugeschmolzen. Sobald der Apparat die gewöhnliche Temperatur wieder angenommen hat, taucht man zuerst nur das Haarrohr in Quecksilber und bricht die Spitze ab, worauf das flüssige Metall in den innern Raum eindringt. Man senkt dann auch das weitere Rohr, in dem Masse als die Flüssigkeit darin steigt, tiefer ein, bis endlich der äussere und innere Metallspiegel bleibend in derselben Ebne liegen. Die eingeschlossene Luft hat nunmehr mit der Temperatur auch die Dichtigkeit der äusseren Luft angenommen. Man drückt jetzt die offene Spitze des Behälters mittelst einer geeigneten Vorkehrung in Wachs ein, damit während des Herausnehmens kein Quecksilber ausfliessen kann. Man bestimmt das Gewicht des eingedrungenen Metalls, füllt endlich den ganzen inneren Raum mit Quecksilber an, und wiegt wieder. Die gesuchte Temperatur lässt sich aus beiden Wägungen berechnen. Das Lufthermometer war z. B. dem Dampfe des siedenden Schwefels ausgesetzt worden. Später bei 13° Temperatur unter Quecksilber geöffnet, waren 317 Grm. eingedrungen. Der ganze Rauminhalt entsprach 610 Grm. Quecksilber bei 13°. Also $610 - 317 = 283$ Volumtheile Luft von 13° waren geworden 610 Volumtheile bei einer unbekannten Temperatur. Nun weiss man, dass 273 Volumtheile bei 0°, für jeden Grad Temperaturerhöhung ihren Umfang um 1 vermehren, daher bei 13° sich in $273 + 13$, bei x° sich in $273 + x$ verwandeln. Es ist folglich: $283 : 610 = 273 + 13 : 273 + x$, woraus gefunden wird $x = 322°$.

Eine kleine Berichtigung erfordert die Ausdehnung des Glases, denn der innere Umfang bei der erhöhten Temperatur ist nicht 610, sondern $610\,(1 + 0{,}000026.x)$. Ueber Gay Lussac's Lufthermometer zu vgl. Annales de Chy. et de Phy. 51. 435. Auch Pogg. Ann. 27. S. 681. Dulong's Lufthermometer. Ann. de Chy. et de phy. VII. 120. Mitscherlich's Lufthermometer, Pogg. Ann. 29. 203.

Um das Lufthermometer zur Bestimmung sehr hoher Temperaturen brauchbar zu machen, kann man den Glasbehälter mit einem ähnlichen von Platin vertauschen. Pouillet's Luft-Pyrometer. (Pogg. Ann. 39. 567.)

72. Wenn man die Ausdehnung der Körper mit den Graden des

Luftthermometers oder mit der sogenannten wahren Temperaturzunahme vergleicht, so bemerkt man bei allen ohne Ausnahme ein allmähliges, mit der steigenden Temperatur immer rascheres Wachsen des Ausdehnungscoefficienten, ganz so wie es sich aus theoretischen Gründen voraussehen lässt.

Setzt man z. B. die Menge des Quecksilbers im Thermometer bei 0° gleich 6480 Raumtheilen, so beträgt die scheinbare Ausdehnung desselben für jeden Grad des Quecksilberthermometers 1 Raumtheil, weil man sämmtlichen Temperaturgraden gleichen räumlichen Inhalt gegeben hat. Vergleicht man aber damit die Zuwachse, welche 273 Raumtheile Luft, bei 0° gemessen, erhalten, wenn man sie gleichzeitig mit dem Quecksilberthermometer, nach und nach wechselnden Temperaturen aussetzt, so findet man als Ausdrücke für die wahre Temperatur (Dulong und Petit, neuerdings von Magnus bestätigt) die folgenden Zahlenwerthe:

Quecksilberthermometer.	Lufthermometer.
— 36	— 36
0	0
100	100
130	129,92
150	148,70
200	197,05
250	245,05
300	292,70
360	350,00

Man sieht hieraus, dass das Quecksilberthermometer nur zwischen — 36° und 130° dem eigentlichen Begriffe der Temperatur entsprechende Anzeigen liefert. Die Tabelle verschafft aber die Möglichkeit, alle mit dem Quecksilberthermometer beobachteten scheinbaren Temperaturen auf ihren wahren Werth, nämlich auf Grade des Lufthermometers, zurückzuführen. Zu diesem Zwecke hat August nachstehende Formel berechnet:

$$t = t' - \tfrac{1}{4}\, a\, (0{,}09 + 0{,}00028\, a)$$

worin t die wahren, t' die beobachteten Temperaturgrade bedeutet und $a = t' - 100$.

Die Ausdehnungen anderer Flüssigkeiten entsprechen noch weit weniger, als die des Quecksilbers, den wahren Temperaturzunahmen (63).

Wollte man die Temperaturen den Längenzunahmen irgend eines festen Körpers proportional setzen, so würden die Abweichungen von der wahren Temperatur gewöhnlich ebenfalls weit grösser werden, als diess bei dem Quecksilber der Fall ist; z. B. 300° des Lufthermometers bezeichnen nach Dulong dieselbe Temperatur, wie 353° des Glasthermometers, wie 373° eines Eisenthermometers, wie 329° eines Kupferthermometers oder wie 312° eines Platinthermometers. Hätte man nämlich als thermometrische Substanz z. B. eine Glasstange gewählt, deren mittlerer Ausdehnungscoefficient zwischen 0 — 100° für jeden Grad $^1/_{116100}$ beträgt, so würde man finden, dass ihre Verlängerung für 300 wahre Temperaturgrade nicht $^{300}/_{116100}$, sondern $^{353}/_{116100}$ ausmacht. Man weiss diess daher, weil der mittlere Ausdehnungscoëficient des Glases zwischen 0—300° für jeden Grad $^1/_{98700}$ beträgt und weil $^{300}/_{98700} = {}^{353}/_{116100}$.

Von der Wärmecapacität der Körper.

73. Nach der Vorstellung, dass die Wärme eine Materie sey, muss jeder Körper, indem er seine Temperatur bis zu einem gewissen Grade erhöht, eine gewisse Menge dieser Materie in seinem Umfange aufnehmen.

Die Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit des Wassers aufnehmen muss, um von der Temperatur 0° auf die von 1° ge-

bracht zu werden und überhaupt jede andere gleich grosse Wärmemenge wird Wärmeeinheit genannt.

74. Die Temperatur des Wassers ändert sich sehr nahe proportional mit der Anzahl Wärmeeinheiten, welche jede Gewichtseinheit in sich aufgenommen oder abgegeben hat.

Denn wenn man in einem geräumigen Gefässe, am besten von Holz, welches die Wärme sehr wenig ableitet, 100 Pfund Wasser, etwa von 0°, mit 100 Pfund Wasser, etwa von 90° vermischt, werden stets 200 Pfund von mittlerer Temperatur, in unserem Falle von 45° erhalten.

Man kann hiernach sehr leicht im Voraus berechnen, welche Temperatur durch Vermischen von gegebenen Mengen kalten und warmen Wassers erhalten werden muss. Beispiele: 30 Pfund Wasser von 80° oder 2400 Wärmeeinheiten mit 200 Pfund Wasser von 11° oder 2200 W. E. zusammengebracht, geben die Mitteltemperatur von 20°, weil in diesem Falle $30 + 200 = 230$ Pfund sich in $2400 + 2200 = 4600$ W. E. theilen müssen. Es ist aber $\frac{4600}{230} = 20$.

Es sollen durch Vermischen von Wasser von 8° (t°) mit Wasser von 100° (T°), 1000 Kubikfuss (V) Badewasser von 34° (t'°) gebildet werden. — Jede Gewichtseinheit des kalten gewinnt 26 W. E., jede des heissen verliert 66 W. E. Also auf je ein Theil heisses kommen $^{66}/_{26}$ kaltes, oder auf je 92 Badewasser kommen 26 heisses und 66 kaltes. Es ist daher $92 : 26 = 1000 : (x = 282{,}6$ K. F. Wasser von 100°.

Allgemein betrachtet kann man setzen: $Vt' = x\,T + (V - x)\,t$, woraus $x = \frac{t' - t}{T - t} V$.

75. Gleiche Gewichtsmengen desselben Stoffes, die ungleich erwärmt sind und die man untereinander mengt, nehmen, wenn ihre Temperaturverschiedenheit nicht sehr gross war, eine Temperatur an, welche, ganz so wie man es bei dem Wasser findet, die arithmetische Mittlere der Anfangstemperaturen ist. Vermengt man aber ungleichartige Stoffe, so zeigen sich ganz andere und von einem Körper zum andern sehr abweichende Verhältnisse.

Beispiele: Ein Pfund geläutertes Brennöl von 16°, mit 1 Pfund Wasser von 80° gemengt, gibt nicht eine Mitteltemperatur von $\frac{16 + 80}{2} = 48°$, sondern von 58°,7

10 Pfund Quecksilber von 16° mit 1 Pfund Wasser von 81° gemischt, nehmen nicht, wie man erwarten möchte, die Temperatur von 22°, sondern die von 66° an.

Wenn man 468 Grm. Wasser von 10°,7 mit 77,4 Grm. weissem Glas von 98°,7 so lange mengt, bis eine ganz gleichförmige Temperatur eingetreten ist, so beträgt diese 13°,5, während die arithmetische Mittelzahl $\frac{468.\ 10{,}7 + 77{,}4.\ 98{,}7}{468 + 77{,}4} = 23{,}2$ seyn müsste.

Verschiedene Körper bedürfen also bei gleichem Gewichte ungleicher Wärmemengen, um zu derselben Temperatur erhoben zu werden.

76. Diejenige Wärmemenge, durch deren Aufnahme die Gewichtseinheit eines Körpers um einen Temperaturgrad erwärmt wird, in Wärmeeinheiten oder Theilen der Wärmeeinheit ausgedrückt, nennt man seine Wärmecapacität, wohl auch seine eigenthümliche Wärme.

Die Wärmecapacität verschiedener Körper ist sehr ungleich.

Beispiele: Um ein Pfund Oel von 16° auf 58°,7 zu bringen, oder um seine Temperatur um 42°,7 zu erhöhen, sind (72) 80 — 58,7 = 21,3 W. E. nöthig gewesen. Die Wärmecapacität des Oels entspricht also $^{21,3}/_{42,7}$, oder einer halben W. E., da doch die des Wassers einer ganzen W. E. entspricht.

15 W. E. (nämlich 81° — 66° = 15°, die 1 Pfund Wasser verlor) vermögen die Temperatur von 10 Pfund Quecksilber um 50°, oder die von 1 Pfund um 500° zu vermehren. Daher die Wärmecapacität des Quecksilbers = $^{15}/_{500}$ = 0,03 Wärmeeinheit.

Durch die Wärme, welche 77,4 Grm. Glas einbüssen, indem sie ihre Temperatur um 98,7 — 13,5 = 85°,2 erniedrigen, können 468 Grm. Wasser von 10°,7 auf 13°,5 gebracht, d. h. um 2°,8 erwärmt werden, was 468. 2,8 = 1310,4 W. E. gleichkommt. Daher 77,4. 85,2 x = 1310,4; woraus man findet die Wärmecapacität des Glases x = 0,198.

Das angedeutete Verfahren, die eigenthümliche Wärme eines Körpers zu messen, indem man eine bekannte Gewichtsmenge desselben zu einer bekannten Temperatur erwärmt, dann mit einer abgewogenen Menge Wasser, ebenfalls von bekannter Temperatur, vermengt und die eintretende mittlere Temperatur misst, wird die Methode der Mengungen genannt.

Eine allgemeine Uebersicht der hierbei nöthigen Berechnungen gewährt die Formel $M(T-t)x = M'(t-T')$, worin M und M′ die Gewichtsmassen beider Körper, T und T′ die zugehörigen Temperaturen, t die Temperatur nach der Mengung vorstellen.

Ausführlicheres über die Methode der Mengungen findet man in Pogg. Ann. B. 51. S. 57, dann B. 53. S. 64 (Regnault). Ebendaselbst Bd. 23. S. 1 und S. 40 (Neumann).

77. Die Zahlen, welche das relative Verhältniss der Wärmemengen ausdrücken, die von gleichen Gewichten verschiedener Körper aufgenommen werden müssen, wenn ihre Temperatur je um einen Grad, oder im Allgemeinen je um eine gleiche Anzahl Grade erhöht werden soll, nennt man die specifischen Wärmen dieser Körper.

So ist die spec. Wärme des Wassers zwischen 0 — 20° = 1; die des Oels = 0,5; die des Quecksilbers = 0,03; die des Glases = 0,198. (Tafel V.)

Wenn die spec. Wärme eines Körpers bekannt ist, so findet man die Anzahl Wärmeeinheiten, wodurch ein gegebenes Gewicht desselben um einen Grad erwärmt wird, indem man dieses Gewicht mit der spec. Wärme multiplicirt. Das so erhaltene Product bezeichnet den Wasserwerth des Körpers, d. h. eine Gewichtsmenge Wasser, welche bei der Mengung denselben Wirkungswerth hat, wie die vorhandene Menge des Körpers; z. B. die spec. Wärme des Eisens ist 0,11; 1000 Pfund Eisen bedürfen daher für jeden Grad Temperaturerhöhung 0,11 × 1000 = 110 W. E.; 110 ist der Wasserwerth von 1000 Pfund Eisen.

Man findet die Mitteltemperatur eines Gemenges verschiedenartiger Körper, indem man die ganze Summe der vorhandenen Wärmeeinheiten dividirt durch die Summe der Wasserwerthe sämmtlicher Körper; z. B. 100 Pfund Eisen von 400° mit 500 Pfund Wasser von 8° vermengt, gibt eine mittlere Temperatur von

$$\frac{100 \,.\, 0{,}11 \,.\, 400 + 500 \,.\, 8}{100 \,.\, 0{,}11 + 500} = \frac{4400 + 4000}{11 + 500} = 16°{,}4.$$

Das Wasser, dessen Temperatur durch Mengung mit einem oder mehreren Körpern verändert werden soll, muss sich immer in einem Gefässe befinden. Ist nun die Masse des letzteren ein guter Wärmeleiter, so dass sie die Temperatur des Wassers leicht annimmt, z. B. dünnes Metallblech, so berechnet man dessen Einfluss dadurch, dass man den Wasserwerth desselben zu der enthaltenen Wassermasse addirt und diese Summe als wirklich vorhandene Wassermenge betrachtet.

Die Rechnungen, zu welchen die Mengung irgend eines erwärmten Körpers mit Wasser führen kann, sind ganz allgemein ausgedrückt in der Gleichung:

$$w.\,M.\,T + M.'T' = (M.w + M')\,t$$

worin wieder M und M′ die Gewichtsmassen, T und T′ die zugehörigen Temperaturen, t die Endetemperatur, w die spec. Wärme des Körpers M vorstellen. In M′ ist stets der Wasserwerth des Gefässes, des eingesenkten Thermometers u. s. w. eingerechnet.

Aus dieser Gleichung lässt sich, je nach der Beschaffenheit der Daten, die spec. Wärme des Körpers M, oder auch die Endetemperatur, oder endlich, wenn alles Uebrige bekannt ist, die Anfangstemperatur des Körpers M berechnen.

Die Methode der Mengungen gewährt auf diese Weise ein Hülfsmittel, hohe Wärmegrade zu messen, indem man einen Körper, der die hohe Temperatur besitzt, z. B. einen Ring oder eine Kugel von Platin in das Wasser senkt, und so lange darin herumführt, bis die Temperatur beständig geworden ist. Dieses pyrometrische Verfahren setzt freilich eine genaue Kenntniss der Wärmecapacität des Platins, bis zu dem gesuchten Hitzegrade hin, voraus. (Pogg. Ann. 39. S. 571.) Zu vergl. Tafel V. Platin.)

78. Die Wärmecapacität der Körper, ähnlich wie ihre Ausdehnbarkeit wächst mit der Temperatur. Nach Dulong und Petit ist z. B. die mittlere Wärmecapacität des Eisens zwischen $0—100^0 = 0{,}1098$; zwischen $0—200^0 = 0{,}1150$; zwischen $0—300^0 = 0{,}1218$; zwischen $0—350^0 = 0{,}1255$; die des Glases zwischen $0—100^0 = 0{,}1770$; zwischen $0—300^0 = 0{,}190$.

Diese Zunahme ist zwischen gleichen Gränzen für manche Körper bedeutender, als für andere; dergestalt dass ihre specifischen Wärmen, d. h. die Verhältnisse ihrer Capacitäten, verschieden sind, je nachdem man dieselben für kleinere oder grössere, übrigens bei allen Körpern gleiche Temperatur-Abschnitte ableitet.

79. Auch die Wärmecapacität gasförmiger Körper vermehrt sich mit der steigenden Temperatur; aber es geschieht bei allen nach demselben Gesetze, so dass die specifischen Wärmen der Gase, auf die Luft als Einheit bezogen, immer dieselben Werthe behalten, für welche Temperatur-Unterschiede man sie auch untersucht haben mag.

Die eigenthümliche Wärme der Gase lässt sich ähnlich, wie die der festen und flüssigen Körper, nach der Mengungsmethode bestimmen. Der dazu erforderliche Wasserbehälter besteht aus einem Cylinder von dünnem Messingblech von 15 Centimeter Höhe und 8 Centimeter Durchmesser; in demselben befindet sich ein schlangenförmig gewundenes Rohr, durch welches ein gleichförmiger Strom des Gases geleitet wird, nachdem es zuvor zu einer bestimmten Temperatur erhoben worden war. Die aufgenommene Wärme wird auf diesem Wege wieder abgesetzt und kann, wenn die Menge des durchgeleiteten Gases bekannt ist, ihrer Quantität nach, gemessen werden aus der Temperatur-Erhöhung des Wassers und aus der Summe der Gewichte des Wassers und des Wasserwerthes der festen Theile des Apparates. Damit die Temperatur im Innern recht gleichförmig werden könne, befindet sich in der Mitte des Blechcylinders die Axe eines Quirls, der während des Versuchs umgedreht wird. Um Wärmeverlust nach Aussen möglichst zu vermeiden, trägt man Sorge, das Wasser vor dem Anfange des Versuchs eben so viele Grade unter die äussere Temperatur abzukühlen, als es sich bei Beendigung des Versuchs über dieselbe erwärmt. (Biot traité de physique, 4. 717; auch Gehler's Wörterb. Wärme, S. 685.)

Der beschriebene Apparat wird nach seinem Erfinder, dem Grafen Rumford, Rumford's Calorimeter, auch Wassercalorimeter genannt.

Eine Uebersicht der spec. Wärmen derjenigen Gase, für welche sie bekannt sind, findet man Tafel V.

Von der gebundenen Wärme.

80. Wenn ein fester Körper, nachdem er sich bis zu seinem Schmelzpuncte erwärmt hat, der Einwirkung einer höheren Temperatur fortwährend ausgesetzt bleibt, so beginnt er sich zu verflüssigen. Dieser Uebergang geht aber niemals plötzlich, sondern nur nach und nach vor sich. Während dieser ganzen Zeit bleibt bekanntlich die Temperatur des Körpers beständig, wie gross auch die Wärmemenge seyn mag, welche jeden Augenblick aus der Umgebung zugeführt wird (50).

Z. B. Schnee und Eis während des Schmelzens behaupten die Temperatur von 0°, so lange noch ungeschmolzene Theile vorhanden sind. Giesst man heisses Wasser auf das Eis, so erkaltet das erstere rasch bis auf 0°, und man findet, dass dafür ein Theil des letzteren flüssig wird. Der mit Sorgfalt angestellte Versuch hat gelehrt, dass 1 Pfund Eis von 0° mit 1 Pfund Wasser von 75° gemengt, 2 Pfund Wasser von 0° liefert. 75 Wärme-Einheiten verschwinden also völlig für die Wirkung auf das Thermometer, indem sich das Eis in Wasser verwandelt.

Man hat diese Eigenschaft des Eises benutzt, um die spec. Wärme der Körper zu bestimmen. Es ist einleuchtend, dass, wenn man verschiedene Körper auf gleiche Temperatur, z. B. auf 100° erwärmt, und dann einen nach dem andern mit Eis oder Schnee umgibt, alle bis zu 0° erkalten müssen. Jeder wird aber dabei nach Verhältniss seines Wärmeinhaltes eine andere Gewichtsmenge Eis in Wasser verwandeln. Das Verhältniss der gebildeten Wassermengen gibt also dasjenige der Wärmecapacitäten dieser Körper für den gewählten Temperaturabschnitt. Lavoisier und La Place haben zu diesen Versuchen einen besonderen Apparat eingerichtet und demselben den Namem Eiscalorimeter gegeben. (Biot traite de phys. 4. 686.)

81. Die Wärme, welche die Körper während ihres Uebergangs in den flüssigen Zustand aufnehmen und die von dem Thermometer nicht angezeigt wird, heisst gebundene oder latente Wärme; Schmelzwärme, Verflüssigungswärme. Sie ist wesentlich, um die Körper im flüssigen Zustande zu erhalten, und kann eben aus dem Grunde, weil sie mit den kleinsten Theilen der Flüssigkeit verbunden ist und deren gegenseitiger Anziehung, in so weit diese die Ursache des Zusammenhangs war, das Gleichgewicht hält, nicht mehr auf das Thermometer einwirken, oder als ungebundene, freie Wärme, d. h. als Wärme, deren Expansivvermögen durch einen Gegendruck noch nicht aufgehoben ist, thätig seyn.

82. Die Wärme, welche ein Körper im flüssigen Zustande gebunden hält, wird frei beim Rücktritt zu der festen Aggregatform.

Schwefel z. B. schmilzt bei 110°; seine spec. Wärme ist 0,2026; 1000 Gewichtstheile festen Schwefels von 110° müssen demnach 22286 W. E. enthalten. Die Temperaturerhöhung, welche kaltem Wasser durch geschmolzenen Schwefel, der darin erstarrt, ertheilt wird, ist aber beträchtlich grösser, als es obiger

Annahme entspricht. Dieser Ueberschuss rührt von der frei gewordenen Schmelzwärme her.

Wasser von 0°, einer niedrigeren Temperatur, z. B. von — 20° ausgesetzt, kühlt sich, wenn man es in Bewegung hält, gleichwohl nicht weiter ab; aber ein Theil nach dem andern wird fest. Der Wärmeverlust wird also beständig ersetzt durch die Wärme, welche während der Eisbildung frei wird. In der That erhält sich die Temperatur von 0° nur so lange, bis alles Wasser gefroren ist, und sinkt dann bald auf diejenige der Umgebung herab. Grund, warum die Temperatur des fliessenden Wassers selbst bei der strengsten Winterkälte nicht unter 0° sinkt.

Einige Flüssigkeiten, unter andern ruhig stehendes Wasser, erniedrigen zuweilen ihre Temperatur mehrere Grade unter den Schmelzpunct, ohne zu erstarren. Im Augenblicke des Festwerdens erwärmen sie sich dann bis zu ihrem Schmelzpuncte.

Erhitzen des Kalks beim Löschen.

83. Die Bindung von Wärme während des Uebergangs in den flüssigen Zustand ist die Ursache, warum es unmöglich ist, feste Körper über ihren Schmelzpunct zu erwärmen.

Das Freiwerden dieser gebundenen Wärme erklärt, warum sich Flüssigkeiten, während sie fest werden, nicht unter ihren Schmelzpunct abkühlen lassen.

84. Jeder Körper, indem er flüssig wird, sey es durch Schmelzen oder auf chemischem Wege, durch Auflösen, bedarf dazu einer, seiner besondern Natur entsprechenden Menge Verflüssigungswärme. Kann er diese nicht aus einer entfernteren Wärmequelle schöpfen, muss er sie aus der unmittelbaren Umgebung, aus seiner eignen freien Wärme nehmen, so ist die Folge eine Erniedrigung der Temperatur.

Abkühlung durch Auflösung vieler Salze in Wasser; Kältemischungen (Tafel. IX). Gay Lussac's Verfahren, den Gehalt eines Gemenges von Chlorkalium und Chlornatrium an ersterem Salze durch Auflösen dieses Gemenges in Wasser zu erfahren, gründet sich auf die Wahrnehmung, dass 50 Grm. Chlorkalium 200 Gramme Wasser um 11°,4; 50 Grm. Chlornatrium dieselbe Menge Wasser nur um 1°,9 abkühlen. (Schubarth's technische Chemie. B. 1. S. 353.)

85. Die Flüssigkeiten, indem sie sich in Dämpfe verwandeln, binden von Neuem eine beträchtliche Menge Wärme, deren sie bedürfen, um den Gaszustand herbeizuführen oder um die gegenseitige Anziehung der kleinsten Körpertheile völlig aufzuheben. Diese Verflüchtigungswärme wirkt eben so wenig wie die Schmelzwärme auf das Thermometer. Diese Wärmebindung erklärt, warum reine Flüssigkeiten während des Siedens eine feste Temperatur behaupten, welche zugleich auch diejenige des gebildeten Dampfes ist.

Die gebundene Wärme des Dampfes wird durch den Rücktritt desselben in den flüssigen Zustand wieder zu freier Wärme.

Dampf, bei seiner Erzeugungstemperatur mit irgend einem kälteren Körper in Berührung gebracht, wird tropfbar flüssig, und theilt während dieses Ueberganges, vermöge seiner gebundenen Wärme, die nun frei wird, dem andern Körper weit mehr Wärme mit, als er selbst im Zustande tropfbarer Flüssigkeit bei der

Erhitzung bis zum Siedpuncte davon aufnehmen konnte; z. B. durch Einleiten von Wasserdampf in kaltes Wasser von 0,° erhält man auf je 1 Pfund Dampf 6,4 Pfund siedend heisses Wasser.

86. Jeder gasförmige Körper enthält eine gewisse Menge latenter Wärme, von welcher sein elastisch flüssiger Zustand, sein Expansivvermögen abhängt und durch deren Entziehung er in den tropfbar flüssigen oder selbst in den festen Zustand übergehen müsste.

Die Gase bedürfen aber auch schon für die blosse Erweiterung ihres Umfangs einer bestimmten Wärmemenge, die das Thermometer nicht anzeigt. In der Folge wird gezeigt werden, dass jeder gasförmige Körper bei plötzlicher Vergrösserung seines Volums seine Temperatur erniedrigt, indem er nicht Zeit hat, die für die Ausdehnung nothwendige Wärme aus der Umgebung herbeizuziehen, und daher genöthigt ist, einen Theil seiner eignen freien Wärme dazu zu verwenden. Durch Zusammendrückung dagegen wird Wärme frei, weil der ganze, für den grösseren Umfang nothwendige Antheil jetzt überflüssig und folglich zur Temperaturerhöhung verfügbar wird.

87. Auch feste Körper, deren Dichtigkeit man durch äussere dehnende Kräfte vermindert, kühlen sich ab, dagegen erwärmen sie sich, während sie durch äusseren Druck verdichtet werden. Die durch äussere Kräfte bewirkten Dehnungen sind zwar stets von einer Verschiebung der Theile (35), also von einer Art Reibung begleitet; allein durch Versuche mit Metalldrähten, die man durch Gewichte spannte (Weber in Pogg. Ann. B. 20. S. 177.) ist es nicht nur gelungen, die Grösse der Temperatur-Erniedrigung durch Zunahme der Spannung, so wie der Temperatur-Erhöhung durch Abnahme der Spannung zu messen, sondern auch den Beweis zu führen, dass ein gespannter Draht, indem er in den früheren Zustand zurückspringt, also sich verdichtet, sich um eben so viel Grade erwärmt, als er vorher durch die Dehnung sich abgekühlt hatte. Man zog hieraus den Schluss, dass zu diesen Temperatur-Veränderungen die Verschiebung der Theile und die Reibung nichts beigetragen haben konnte, und dass folglich jede Verlängerung oder Ausdehnung eines Körpers von einer Bindung von Wärme, jede Verkürzuug oder Zusammenziehung aber von einem Freiwerden von Wärme begleitet ist.

88. Die Wärme, welche die Körper bei ihrer Temperatur-Erhöhung und bei unverändertem äusserem Drucke aufnehmen, die gewöhnlich sogenannte specifische Wärme (77), zerfällt demnach in zwei wohl zu unterscheidende Theile:

1) in freie Wärme oder specifische Wärme bei ungeändertem Volum, von welcher ausschliesslich die Temperatur-Erhöhung abhängig ist;

2) in gebundene oder Ausdehnungswärme, welche ausschliesslich dazu verwendet wird, die Körpertheile im Zustande der Ausdehnung zu erhalten, und welche sich aus diesem Grunde nicht als freie Wärme äussern kann.

Denkt man sich z. B. eine erwärmte Metallstange in der Art fest eingeklemmt, dass sie sich bei der Abkühlung auf die anfängliche Temperatur nicht wieder verkürzen kann, so wird sie nicht alle Wärme, die sie aufgenommen hatte, wieder abgeben, sondern nur den zuerst betrachteten Antheil, nämlich ihre spec. Wärme bei unverändertem Volum. Dieser Theil des gesammten Wärme-Inhaltes ist also wesentlich von dem Stoffe, der andere Theil wesentlich von dem Raume eines Körpers abhängig.

89. Beide Wärmemengen lassen sich gewöhnlich nicht getrennt von einander beobachten. Weil aber die Ausdehnung fester und flüssiger Körper im Allgemeinen mit der wahren Temperatur nicht gleichförmig fortschreitet, so ist man veranlasst dasselbe hinsichtlich der entsprechenden Zuwachse an Ausdehnungswärme vorauszusetzen. Man findet hierin den Grund, warum die specif. Wärmen der Körper, nämlich die Verhältnisse ihrer Wärmecapacitäten, aus diesen Capacitäten selbst, jedoch zwischen verschiedenen Temperaturgränzen abgeleitet, nicht durch dieselben Zahlenwerthe ausgedrückt sind (78).

Ein anderer Grund liegt, wenigstens bei vielen Körpern, darin, dass sie vor dem Uebergang in den eigentlich flüssigen Zustand alle Stufen der Weichheit durchlaufen und daher, wie z. B. Eisen und Glas, keinen ganz sicher zu bestimmenden Schmelzpunct besitzen. Andere besitzen zwar eine feste Schmelztemperatur, aber sie erweichen, wie z. B. Wachs und Phosphor, lange vor dem Eintritte derselben. Es ist anzunehmen, dass solche Körper einen Theil ihrer Schmelzwärme schon vor der völligen Verflüssigung aufgenommen haben, die sich dann bei dem Versuche der spec. Wärme zufügt. Körper, deren Schmelzpunct niedrig liegt und deren Wärmecapacität bis in die Nähe dieses Punctes mit Zuverlässigkeit untersucht werden konnte, sind gerade diejenigen, deren spec. Wärmen die grössten Unregelmässigkeiten darbieten (Regnault).

90. Die Capacität eines Körpers für freie Wärme vermehrt sich bei abnehmender Dichte desselben, dergestalt, dass er nach jeder Veränderung seiner Aggregatform, so lange diese nunmehr bleibend ist, eine andere spec. Wärme bei unverändertem Volume besitzt.

Die Gase zeigen dieses Verhalten am auffallendsten; aber selbst bei festen Körpern ist es in manchen Fällen auf's deutlichste wahrnehmbar; z. B. Eisenoxyd besitzt im Zustande als Eisenglanz eine geringere Wärmecapacität, als der weit weniger dichte Colkothar. Kupfer, kalt gehämmert und dadurch dichter geworden, vermindert seine Wärmecapacität; durch Ausglühen in den früheren Zustand versetzt, erhält es auch wieder seine frühere Empfänglichkeit für Wärme. Die spec. Wärme der Kohle nimmt stufenweise ab, je nachdem sie als Holzkohle, Graphit und Diamant geprüft wird, und ist im letzten Falle kaum halb so gross als im ersten (Taf. V.).

Das plötzliche vorübergehende Erglühen mancher Stoffe, während man sie einer höheren Temperatur aussetzte, scheint die Folge einer Verminderung der spec. Wärme zu seyn, dadurch bewirkt, dass die kleinsten Theile in einen Zustand innigerer Berührung treten und ein Aggregat von dichterer Beschaffenheit bilden. (Regnault. Pogg. Ann. B. 53. S. 213.)

Von der specifischen Wärme der Atome.

91. Durch die Untersuchungen der Chemiker ist es gelungen, die Gewichtsverhältnisse der Körperatome mit grosser Wahrscheinlichkeit zu ermitteln. Die Zahlen, welche diese Verhältnisse ausdrücken, z. B. auf das Gewicht des Sauerstoffes = 100 bezogen, nennt man die Atomgewichte, auch Atome der Körper.

Eine Vergleichung der Atomgewichte verschiedener Stoffe mit ihren spec. Wärmen hat das Bestehen der nachfolgenden, eben so merkwürdigen, als im Ausdrucke einfachen Naturgesetze höchst wahrscheinlich gemacht.

1) Die Atome der einfachen Stoffe besitzen entweder gleiche Capacität für die freie Wärme, oder die Capacitäten der einen stehen zu denen der andern in ganz einfachen Zahlenverhältnissen.
2) Die Atomgewichte zusammengesetzter Körper von gleicher atomistischer Zusammensetzung, z. B. die proportional zusammengesetzten Oxyde, Chloride, Sulphide u. s. w. besitzen gleiche Capacität für die freie Wärme.

Das erste dieser Gesetze findet eine vollkommne Bestätigung in dem Verhalten mehrerer einfachen Gase, des Sauerstoffs, Stickstoffs und Wasserstoffs, indem man gefunden hat, dass gleiche Volume derselben auch gleiche Wärmecapacität haben. Gleiche Volume dieser Gase bei gleicher Temperatur und gleichem äusseren Drucke entsprechen aber nach der gewöhnlichen Annahme einer gleichen Anzahl Atome.

Eine annähernde Bestätigung findet dieses Gesetz für eine grosse Zahl einfacher Stoffe, die in flüssiger oder fester Aggregatform auftreten und deren spec. Wärme untersucht worden ist. Multiplicirt man nämlich die spec. Wärme der Gewichtseinheit eines jeden dieser Stoffe mit seinem Atomgewichte, oder mit der von den Chemikern dafür angenommenen Zahl, so sind die erhaltenen Producte entweder nahe gleich, oder es besteht zwischen denselben das Verhältniss 1 : 2 oder 2 : 3 oder ein anderes einfaches Zahlenverhältniss (vergl. Taf. VI.) Weniger streng wird die Annahme des zweiten Gesetzes durch die bis jetzt bekannten, übrigens sehr zahlreichen Versuche gerechtfertigt. Eine scharfe Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der theoretischen und experimentellen Untersuchung lässt sich aber auch hier gar nicht erwarten, weil die spec. Wärmen der Körper, so wie dieselben durch die Mengungsmethode ermittelt sind, nicht das wahre Verhältniss ihrer Capacitäten für freie Wärme bezeichnen können (88), sondern immer, je nachdem der untersuchte Körper von sehr dichter oder weniger dichter, von harter oder weicher Beschaffenheit, krystallinisch oder amorph, fest, flüssig oder gasförmig war, je nachdem er bei einer dem Schmelzpuncte nahen oder davon weit entfernten

Temperatur, oder endlich je nachdem er zwischen geringeren oder weiteren Temperaturgränzen untersucht worden ist, bald mehr, bald weniger mit einem Fehler behaftet seyn müssen, der theils von der zunehmenden Wärmecapacität im Allgemeinen, theils von der unregelmässigen Aufnahme von gebundener Wärme herrührt. Es ist daher nicht sowohl eine vollkommne Uebereinstimmung der theoretischen und Erfahrungs-Resultate, was den ersteren zur Stütze dienen kann, als vielmehr eine Annäherung innerhalb wenig entlegener Gränzen.

III. Von den bewegenden Kräften im Allgemeinen und insbesondere von der Schwerkraft.

Begriffs-Bestimmungen. Geradlinigte Bewegung.

92. Diejenige Stelle im Raume, welche ein Körper einnimmt, heisst sein Ort. Lage eines Ortes nennt man die Beziehungen desselben zu andern Puncten im Raume.

Ein Körper ist in Ruhe, wenn weder er selbst noch seine Theile ihre Lage verändern. Er befindet sich in Bewegung, wenn er selbst oder seine Theile nach und nach verschiedene Orte im Raume einnehmen.

Unser Urtheil über Ruhe- oder Bewegungszustand eines Körpers ist stets relativ; d. h. es bezieht sich auf eine Vergleichung seines Zustandes mit dem anderer Körper.

93. Jede Veränderung des Zustandes eines Körpers (Uebergang der Ruhe zur Bewegung oder der Bewegung zur Ruhe) ist die Folge äusserer Einwirkungen (6). Die Unfähigkeit der Körpermasse, selbstsändig, d. i. unabhängig von äusseren Ursachen, ihren Zustand zu ändern, wird mit dem Worte Trägheit (Unthätigkeit, inertia) bezeichnet.

94. Jede äussere Ursache, jede Kraft, welche für sich fähig ist, einen Körper in Bewegung zu setzen, wird bewegende Kraft genannt.

Wird ein Körper, wenngleich er unter dem Einflusse einer bewegenden Kraft steht, durch irgend eine Veranlassung verhindert, sich zu bewegen, so äussert sich die bewegende Kraft als Druck oder als Zug.

Druck oder Zug ist also nichts Anderes, als das fortdauernde Streben, den Bewegungszustand herbeizuführen.

95. Die äussere Ursache des Falles der Körper wird Schwere oder Schwerkraft genannt. Man kann sich dieselbe als eine Anziehung vorstellen, welche von der Erde ausgeht und welcher jeder einzelne Erdkörper unterworfen ist. Die Bewegung gegen die Erde, die wir Fall nennen, ist eine Folge dieser Anziehung.

Die Körper sind zu jeder Zeit dem Einflusse der Schwere unterworfen; sie besitzen selbst dann ein Streben zu fallen, wenn

sie durch eine Unterlage daran verhindert sind. Der Druck, welchen sie dann auf die Unterlage äussern, der fortdauernde Antrieb (Impuls) zur Bewegung, zum Falle, heisst Gewicht.

Der ruhende Körper wiegt; bei dem Falle verwandelt sich dieser Druck in Bewegung. Wir sind daher berechtigt, aus der Gleichheit der Gewichte auch auf gleich grosse bewegende Kräfte zu schliessen. Auch die Zugkraft des Pferdes, die Elasticität einer gespannten Feder, die Ausdehnsamkeit eines zusammengepressten Gases u. s. w. sind bewegende Kräfte, die sich bald nur als Druck äussern, bald wirklich Bewegung erzeugen.

96. Eine gerade Linie, nach welcher irgend ein sehr kleiner Theil der Körpermasse, ein materieller Punct, unter dem Einflusse bewegender Kräfte, eine wenn auch noch so kurze Strecke fortschreitet, nennt man die Richtung der Bewegung innerhalb dieser Strecke. Bewegt sich der materielle Punct unter dem ausschliesslichen Einflusse einer einzigen Kraft, so muss die Richtung der Bewegung zugleich diejenige der Einwirkung, d. i. die Richtung der Kraft bezeichnen.

So erkennt man z. B. aus dem Wege eines fallenden Körpers die Richtung der Schwerkraft.

Am deutlichsten erkennt man die Richtung einer Kraft aus derjenigen eines Fadens, der am einen Ende befestigt und am andern durch diese Kraft gespannt ist.

Ein solcher Faden, der von irgend einem festen Puncte herabhängt und dessen unterem Ende ein Gewicht angeknüpft ist, heisst Senkel oder Loth. Er bezeichnet in der Ruhelage die Richtung der Schwere des anhängenden Körpers, weil dieser in derselben Richtung fällt, sobald man den Faden durchschneidet. Eine gerade Linie, gleichlaufend mit dem Wege eines fallenden Körpers, wird daher eine senkrechte oder lothrechte genannt.

97. Mehrere Lothe in mässigem Abstande von einander aufgehängt sind gleichlaufend. Es folgt hieraus, dass mehrere benachbarte Körper, aber auch dass sämmtliche Theile eines und desselben Körpers vermöge der Anziehung der Erde sich nach einerlei Richtung zu bewegen streben.

Aus astronomischen Untersuchungen hat sich ergeben, dass die Richtungen sehr weit von einander abstehender Lothe einen Winkel bilden, dessen Scheitelpunct beinahe genau der Mittelpunct der Erde ist; d. h. die Schwere ist allenthalben auf der Erdoberfläche gegen den Mittelpunct der Erde gerichtet; oder die Wirkungen der Schwerkraft sind von der Art, als ob diese anziehende Kraft ihren Sitz im Erdmittelpuncte hätte.

98. Eine ebne Fläche, so gelegt, dass das Loth oder dessen Verlängerung nach allen Seiten hin rechte Winkel damit bildet, heisst eine wagerechte oder horizontale Ebne. Das Loth gewährt uns also ein sehr einfaches Hülfsmittel, einer Ebne die horizontale Lage zu geben, oder auch durch einen beliebig angenommenen Punct eine wagerechte Fläche zu legen.

Eine Fläche, welche man sich so gelegt denkt, dass sie alle vom Mittelpuncte der Erde ausgehende gerade Linien, im Abstande des mittleren Erdhalbmessers rechtwinklich durchschneidet, wird die horizontale Erdoberfläche genannt.

Die horizontale Erdoberfläche muss eine kugelförmige Fläche seyn, weil nur letztere die Eigenschaft besitzt, dass alle von ihrem Mittelpunete aus darauf gezogenen geraden Linien, alle Lothe, winkelrecht darauf stehen.

99. Eine Kraft, die einer andern in ihrer Richtung entgegenwirkt und dadurch die Wirksamkeit dieser letzteren aufzuheben strebt, heisst Widerstand.

100. Wenn beide entgegengesetzten Kräfte an Grösse genau gleich sind, oder wenn jede für sich genommen der Körpermasse ganz dieselbe Bewegung einprägen würde, so kann durch ihre gemeinschaftliche Thätigkeit keine Veränderung bewirkt werden. Man sagt dann: die bewegende Kraft und ihr Widerstand sind im Gleichgewichte.

Das an einem Faden hängende oder auf einer Unterlage ruhende Gewicht ist verhindert, sich zu bewegen, weil die Festigkeit des Fadens oder der Unterlage einen Widerstand bietet, an Grösse gleich der Wirkung der Schwere.

Ein Körper, den man auf der Hand trägt, kann nicht fallen, so lange die Muskelkraft der Hand seinem Gewichte einen gleich grossen Druck entgegensetzt.

Ein Gewicht, welchem durch irgend eine andere Kraft das Gleichgewicht gehalten wird, ist ein Mass für die Grösse dieser andern Kraft, dieses Gegendruckes. Wir besitzen hierdurch ein Mittel, alle fortwirkenden Kräfte, hinsichtlich ihrer Grösse auf Gewichte zurückzuführen (35).

101. Die Kräfte wirken, oder erzeugen einen Effect, in der Zeit.

102. Ein Loth aus seiner Gleichgewichtslage gebracht und dann sich selbst überlassen, bewirkt eine Reihe von Hin- und Herbewegungen, die man Schwingungen (Oscillationen) nennt. Der Weg einer einzelnen Schwingung heisst ihre Weite.

Das schwingende Loth wird gewöhnlich Pendel genannt.

Die Beobachtung lehrt, dass die Schwingungen verschiedener Pendel zwar sehr verschieden seyn können, aber bei demselben Werkzeuge und bei mässiger Schwingungsweite stets gleiche Dauer haben. Daher der Ausdruck isochronische (gleichdauernde) Schwingungen. Man benutzt daher das Pendel als Mass für gleiche Zeittheile. Ein Pendel, welches eine Schwingung in einer Sekunde vollendet, wird Sekunden-Pendel genannt.

Wenn das Pendel als Zeitmass dienen soll, ersetzt man gewöhnlich den biegsamen Faden durch eine unbiegsame, übrigens leichte Stange, z. B. von Holz,

die nicht an einem Puncte befestigt ist, sondern auf einer wagerechten Linie, der Schneide oder Axe ruht. Das Gewicht am unteren Ende erhält die Gestalt einer Linse, damit es die Luft leichter durchschneidet. — Der Gebrauch des Pendels als Zeitmass ist von Huyghens eingeführt worden.

103. Eine kreisförmige, um ihren festen Mittelpunct bewegliche Scheibe, Rolle genannt, die in jeder Lage, die man ihr ertheilen mag, in Ruhe bleibt, nennt man richtig centrirt. Wird um eine solche Rolle ein Faden geschlungen, und befestigt man an den beiderseits herabhängenden Enden desselben gleiche Gewichte, so halten diese einander im Gleichgewichte. Diese einfache Anordnung bildet den wesentlichsten Theil eines für das experimentelle Studium der Bewegungsgesetze sehr wichtigen Apparates, der nach seinem Erfinder die Atwood'sche Fallmaschine genannt wird.

Zu dieser Maschine gehört ausserdem ein Pendel, welches, indem es gleiche Zeittheile, z. B. Sekunden schlägt, dazu dient, die Beziehungen zwischen Zeit und Raum aufzusuchen und zu messen; ferner ein senkrechter Massstab, etwa in Pariser Zolle getheilt, vor welchem sich das eine dieser Gewichte auf- und nieder bewegen lässt, und der zugleich als Träger der Rolle dient. An diesem Massstabe sind zwei wagerechte Platten, von welchen die obere durchbrochen ist, so angebracht, dass sie auf- und abwärts geschoben und an beliebigen Stellen der Theilung festgestellt werden können *).

---

*) Pl. I, Fig. 1, zeigt eine sehr bequem eingerichtete Fallmaschine in $\frac{1}{12}$ natürlicher Grösse, die von dem Universitätsmechanikus Hoss für das physikalische Kabinet der Universität zu Giessen ausgeführt worden ist: Rolle und Pendel haben jede ihren besonderen Träger; sie sind auf einem Brette befestigt, das mittelst Stellschrauben und einer unter der Spitze des Pendels in das Holz eingelassenen Spitze leicht so gerichtet werden kann, dass beide Säulen senkrecht stehen. Die Rolle läuft, wie man aus Fig. 3. ersieht, auf Spitzen, und an jedem Ende des um dieselbe geschlungenen, möglichst dünnen Seidenfadens hängt ein leichter Teller von Messing, worauf nach Bedürfniss verschiedene Gewichte von Messing oder Blei gelegt werden können. Um diese Gewichte bequem zulegen und wieder abnehmen zu können, ist ihr Querschnitt wie Fig. 5. gestaltet. Vor dem Beginn des Versuches wird die untere Fläche des vor dem Massstabe herabsinkenden Tellers in gleiche Höhe mit der wagerechten Oberfläche des Zeigers 0 (Fig. 1.), der den Nullpunct der Scale bezeichnet, gerichtet. Damit aber die Zeit vom Augenblicke des Falles an genau gemessen werden kann, dient die aus Fig. 2. 3. und 4. näher zu ersehende Einrichtung. Die Säulen, welche das Pendel und die Rolle tragen, sind im Innern hohl, und nehmen die dünnen Holzstäbe *a d* und *b e* (Fig. 2) auf, die bei *a* und *b* durch Stifte mit der Querstange *a c* zusammenhängen; letztere ist um den festen Punct *c* drehbar. Ein metallenes Querstück *q* (Fig. 1. und 4.) am oberen Ende des Stabes *a d* befestigt, tritt aus der Säule, woran das Pendel hängt, hervor. Hebt man dieses Stück, so geht auch der Stab *b e* in die Höhe, wodurch ein am oberen Ende desselben befestigter Draht *g h* (Fig. 3.) aufwärts geschoben wird und vor ein Stift h tritt, das am Rande der Rolle eingesetzt ist; letztere wird hierdurch festgestellt. Auf der Pendelstange sitzt eine birnförmige, um einen Stift bewegliche Stahlscheibe *m*, (Fig. 4.), die bei jeder Pendelschwingung, mittelst des Stiftes *n* einen kleinen, an federndem Stiele *s n* befestigten Hammer hebt. Der niederfallende Hammer schlägt dann auf die Glocke *p* und macht dadurch das Ende einer jeden Schwingung für das Gehör bemerkbar. Ueber dem Hammer schwebt der eine Arm des um die

104. Das bewegliche System an der Fallmaschine (Rolle, Faden und anhängende gleiche Gewichte) für sich verharrt in jeder Lage, die man ihm geben kann, im Gleichgewichte. Bringt man aber auf einer Seite ein kleines Uebergewicht an, dann das doppelte, dreifache u. s. w., so tritt jedesmal Bewegung ein, und die in gleichen Zeiten beschriebenen Wege verhalten sich wie die zugelegten kleinen Gewichte.

Dieses Erfahrungsgesetz ist ganz unabhängig von der Masse des bewegten Systems.

Man muss hieraus schliessen: dass, wenn zwei in einen Körper wirkende Kräfte einander das Gleichgewicht halten (wie die beiden anhängenden Gewichte) dieser Körper sich gegen eine dritte Kraft (das aufgelegte kleine Uebergewicht), deren Wirksamkeit kein Widerstand entgegentritt, ganz so verhält, wie eine träge Masse.

Der Grund dieses Verhaltens ist: weil das eine Gewicht um eben so viel gehoben als das andere gesenkt wird, mithin die beiden gleichen Kräfte (Gewichte) gleiche aber entgegengesetzte Wege zurücklegen, folglich ihre Wirkungen (Effecte) ganz so wie im Ruhestande, sich wechselseitig aufheben müssen.

Dieser Satz kann auch auf folgende Art ausgedrückt werden: Wenn zwei Kräfte in entgegengesetztem Sinne in eine Körpermasse wirken, ohne einander das Gleichgewicht zu halten (ungleiche Gewichte an beiden Enden des Fadens), so verhalten sich die in gleichen Zeiten beschriebenen Wege, wie die Unterschiede dieser Kräfte. Sind aber mehrere Kräfte in gleichem Sinne thätig, so addiren sich ihre Wirkungen.

105. Man gebe dem Auflege-Gewichtchen eine passende Gestalt, so dass es während des Niedersinkens zu einer bestimmten Zeit von der an die geeignete Stelle geschobenen durchbrochenen Platte zurückgehalten wird. Die bewegte Masse, von diesem Augenblicke an von keiner bewegenden Kraft mehr getrieben, wird gleichwohl ihren Weg fortsetzen, und man wird finden, dass die beschriebenen Räume, nach 1, 2, 3 u. s. w. Pendelschlägen gemessen, sich verhalten wie die verfliessenden Zeittheile, nämlich wie die Zahlen 1, 2, 3 u. s. w. Also während der Dauer eines jeden Pendelschlages wird ein gleich grosser Weg zurückgelegt.

Diese Art der Bewegung heisst die gleichförmige.

Axe *t* sich drehenden Winkelhebels *u t v*, während der andere Arm desselben Hebels wider ein Stift *r* drückt, das in einem Einschnitte des Querstückes *q* angebracht ist; das Stift *r* hängt sich daher in die Vertiefung *r*, so wie das Querstück *q* gehoben wird, und letzteres ist dadurch gehindert, zurückzufallen. Zugleich hat sich aber das Ende *u* des Hebels dem Obertheile des Hammers genähert; indem nun das schwingende Pendel den Hammer hebt, wird auch *u* gehoben; das Querstück *q* löst sich aus und fällt nieder, mit ihm sinkt der Draht *h g*, und die Rolle wird frei, dergestalt, dass also der erste Glockenschlag den Anfang des Versuches bezeichnet.

Es ist kein Grund einzusehen, warum die einmal gleichförmig gewordene Bewegung, insofern derselben durch äussere Ursachen nichts zugefügt oder entzogen wird, jemals aufhören sollte, in dieser Art fortzudauern. Wir folgern hieraus: dass die Körpermasse, gleich wie sie sich nicht selbst Bewegung zu ertheilen vermag, einmal in Bewegung gesetzt, sich auch nicht selbst wieder zur Ruhe bringen kann. Dieser wichtige, aus der Erfahrung abgeleitete Grundsatz wird das Gesetz der Trägheit genannt. Dieses Gesetz gestattet auch folgende Ausdrucksweise: die träge Masse muss jedem äusseren Eindrucke im Verhältnisse zur Grösse desselben und in dessen Richtung vollständig nachgeben. Die hierdurch hervorgebrachte Wirkung bleibt, so lange nicht neue äussere Einflüsse in's Spiel treten, unverändert.

Diesem Gesetze gemäss sollte jede einmal begonnene Bewegung nicht wieder aufhören dürfen. Wir bemerken im Gegentheil, dass die einer Körpermasse durch vorübergehende Einwirkungen mitgetheilten Bewegungen nach und nach langsamer werden und zuletzt ganz aufhören. Der Grund liegt theils in der Gegenwart von Widerständen oder entgegengesetzten Kräften, theils darin, weil der uns zunächst umgebende Raum überall mit Materie, z. B. mit Luft, erfüllt ist, folglich jede bewegte Masse andere träge Massen vor sich wegräumen, d. h. einen Theil ihrer eigenen Bewegung auf diese übertragen muss. Die nähere Betrachtung dieser Verhältnisse, weit entfernt, dem Gesetze der Trägheit zu widersprechen, hat vielmehr dazu gedient, die Allgemeinheit desselben zu bestätigen.

106. Der Weg, welchen ein Körper bei gleichförmiger Bewegung in der Einheit der Zeit, insbesondere in einer Sekunde, zurücklegt, heisst seine Geschwindigkeit.

Geschwindigkeit ist also bei einem bewegten Körper das jedesmalige Verhältniss zwischen Zeit und Raum (Weg). Der ganze, bei gleichförmig fortdauernder Bewegung beschriebene Weg ist das Product der Zeit in die Geschwindigkeit. Geschwindigkeit, Zeit und Raum werden insgemein durch die Zeichen c, t und s ausgedrückt; man darf demnach setzen $s = c.\ t$.

Körpermassen, worin alle wirksamen Kräfte einander das Gleichgewicht halten, und welche dadurch den Charakter von trägen Massen angenommen haben (104), befinden sich entweder in Ruhe, oder sie bewegen sich mit der einmal gewonnenen Geschwindigkeit unveränderlich fort. Beispiel eines Schiffes, das durch den Wind getrieben, eines Frachtwagens, der durch Pferde mit gleichförmiger Bewegung fortgezogen wird. Der gleichförmige Gang der Uhr wird dadurch erhalten, dass die Bewegung, welche das Räderwerk, sowie das schwingende Pendel an die Luft abgeben muss und durch Widerstände einbüsst, durch die Triebkraft (eine sich aufwickelnde gespannte Feder oder ein fallendes Gewicht) regelmässig wieder ersetzt wird. Aehnlich verhält es sich bei dem Betriebe aller Maschinen.

107. Die Geschwindigkeit eines Körpers bei fortdauernder Einwirkung einer bewegenden Kraft oder eines Widerstandes ist veränderlich; sie nimmt im ersten Falle zu, und vermindert sich im zweiten.

Die Fallmaschine gestattet vermöge der ihr gegebenen Einrichtung nicht nur die unter fortdauernder Einwirkung einer bewegenden Kraft während eines

gewissen Zeitraumes beschriebenen Wege (104), sondern auch die nach Ende dieses Zeitraumes gewonnenen Geschwindigkeiten (105) zu messen.

Durch Abmessung 1) der Geschwindigkeiten, welche dem beweglichen Systeme an der Fallmaschine während 1, 2, 3, 4 u. s. f. Pendelschlägen, durch ein und dasselbe Uebergewicht ertheilt werden, oder 2) der Geschwindigkeiten, welche es immer in derselben Zeit unter dem Einflusse des einfachen, doppelten, dreifachen Uebergewichtes u. s. w. erhält, oder 3) der Räume, die bei unverändertem Uebergewichte in 1, 2, 3, 4 u. s. f. Pendelschlägen beschrieben werden, wird man zu folgenden Erfahrungsgesetzen geleitet:

1. Die Geschwindigkeiten einer Körpermasse unter dem Einflusse ein und desselben Gewichtes mitgetheilt, verhalten sich wie die Zeiten der Einwirkung.

2. Die Geschwindigkeiten, der Körpermasse unter dem Einflusse ungleicher Gewichte, aber in gleichen Zeitabschnitten mitgetheilt, verhalten sich wie die Gewichte.

3. Die unter dem Antriebe desselben Gewichtes beschriebenen Wege verhalten sich wie die Quadrate der Zeiten.

108. Wenn man sich vorstellt; dass der einer trägen Masse durch eine bewegende Kraft eingeprägte Trieb zur Bewegung während der bereits eingetretenen Bewegung ebenso fortwirke, wie im Ruhezustande, so fliessen obige drei Erfahrungsgesetze unmittelbar aus dem der Trägheit. Sie belehren uns daher: dass die Anziehung der Schwere auf fallende Körper eine unveränderlich fortwirkende Kraft ist.

Kräfte, welche, ähnlich der Schwere, auf den bewegten Körper gerade so fortwirken, wie auf den ruhenden, werden gleichförmig beschleunigende Kräfte genannt. Die der Einwirkung einer solchen Kraft entsprechende Bewegung heisst die gleichförmig beschleunigte.

Gesetzt, ein Körper erhalte durch die bewegende Kraft in der ersten Sekunde eine Geschwindigkeit $= c$, so bleibt ihm dieselbe nach dem Gesetze der Trägheit auch für die Folgezeit. Vom Ende der ersten bis zum Ende der zweiten Sekunde wird durch die unveränderte Kraft dieselbe Geschwindigkeit noch einmal erzeugt; dessgleichen in jeder folgenden Zeiteinheit. Da nun alle diese einmal erlangten Geschwindigkeiten nach Annahme bleiben, so muss die Endegeschwindigkeit nach t Sekunden $C = c\ t$ seyn.

Dieses Verhältniss der Zunahme gilt aber nicht blos für die Sekunden, es muss für die grössten, wie für die kleinsten Zeitabtheilungen gleichmässig eintreten. Es seyen z. B.

$$0\ ,\ \frac{1}{n}\ ,\ \frac{2}{n}\ ,\ \frac{3}{n}\ ,\ \frac{4}{n}\ \ldots\ \frac{n}{n}$$

die noch so klein gedachten gleichen Unterabtheilungen der Sekunde, so sind:

$$0\ ,\ \frac{1}{n}.c\ ,\ \frac{2}{n}.c\ ,\ \frac{3}{n}.c\ ,\ \frac{4}{n}.c\ \ldots\ \frac{n}{n}.c$$

die jenen Unterabtheilungen der Zeiteinheit zugehörigen Geschwindigkeiten. Jede derselben multiplicirt mit $\frac{1}{n}$, d.i. mit dem kleinen Zeittheilchen, welchem sie zu-

gehört, gibt den beiden zugehörigen Weg, die Summe aller dieser Theilprodukte aber den ganzen Weg in der Sekunde. Dieser (er mag mit g bezeichnet werden) muss daher seyn:

$$g = \frac{1}{n}\left(0 + \frac{1}{n}c + \frac{2}{n}c + \ldots + \frac{n}{n}c\right) = \frac{c}{n^2}\left(0 + 1 + 2 + \ldots + n\right)$$
$$= \frac{c}{n^2} \cdot \frac{n^2}{2} = \frac{c}{2}$$

Der bis zu Ende der Zeiteinheit beschriebene Weg ist gleich der Hälfte der bis dahin gewonnenen Geschwindigkeit, oder, was dasselbe sagt, gleich der Hälfte desjenigen Weges, der in der folgenden gleichen Zeit und bei gleichförmiger Bewegung zurückgelegt werden müsste.

Dieser Satz bleibt wahr, mag nun als Zeiteinheit die Sekunde oder jeder andere Zeitabschnitt gewählt werden.

Die Geschwindigkeit nach t Sekunden ist $C = ct$; daher der Weg in der folgenden gleichen Zeit, nämlich wieder in t Sekunden, aber bei gleichförmiger Bewegung (er werde durch 2 S vorgestellt) $2S = C.t = ct.t$.

Der in den ersten t Sekunden mit gleichförmiger Beschleunigung beschriebene Weg ist nur halb so gross; daher $S = \frac{ct^2}{2} = gt^2$.

D. h. der ganze in t Sekunden zurückgelegte Weg wird erhalten, indem man den Weg in der ersten Sekunde mit dem Quadrat der Bewegungszeit multiplicirt.

Die Gleichungen:

$$C = ct = 2gt;\ (\alpha) \text{ und } S = gt^2 = \frac{ct^2}{2}\ (\beta)$$

enthalten alle Bedingungen der durch gleichförmig beschleunigende Kräfte bewirkten Bewegung. Durch Verbindung derselben lassen sich noch die folgenden, in vielen Fällen sehr nützlichen Gleichungen, in welchen die Zeit nicht mehr vorkommt, ableiten:

$$C = \sqrt{4gS} = \sqrt{2cS};\ (\gamma) \text{ und } S = \frac{C^2}{4g}\ (\delta)$$

109. Die Geschwindigkeit, welche eine gleichförmig beschleunigte Körpermasse nach der ersten Sekunde erlangt hat, wird ihre Beschleunigung genannt. Die Beschleunigung ist (bei ungeänderter Körpermasse) der fortwirkenden Kraft proportional (107; 2), und kann daher als Mass für die letztere gelten.

Beispiel: Das bewegliche System an der Fallmaschine, durch ein willkührliches Uebergewicht von 5 Grm. getrieben, legte in 6 Pendelschlägen einen Weg von 57,6 Zoll zurück. Die Beschleunigung war demnach

$$(108, \beta)\ c = \frac{2 \,.\, 57{,}6}{36} = 3{,}2''.$$

Welches Uebergewicht ist anzuwenden, damit die Beschleunigung 2 Zoll werde? Man setze, um diese Frage zu lösen, $3{,}2 : 2 = 5 : (x = 3{,}125$ Grm.). Durch das Uebergewicht von 3,125 Grm. wird also die verlangte Bedingung erfüllt. Bei Anwendung desselben ist die Endegeschwindigkeit $C = 2t$; der ganze Weg $S = 1 \,.\, t^2$.

Dieselben Ursachen, welche die gleichförmig beschleunigte Bewegung an der Fallmaschine bedingen, wirken auch bei frei fallenden Körpern, nur dass hier die Schwere sämmtlicher vorhandener materieller Theile zu der Bewegung beiträgt. Kennt man daher das Verhältniss, in welchem die Beschleunigung des freien Falles bei dem Falle an der Maschine verlangsamt ist, so lässt sich aus dem letzteren der erstere berechnen.

Angenommen, das bewegliche System nebst Uebergewicht sind so gewählt worden, dass die Geschwindigkeit in jeder Zeitsekunde um 2 Zoll zunimmt. Neue Gewichtsmassen auf beiden Seiten der Rolle, im Gleichgewichte zugefügt, werden diese Bewegung verlangsamen; ein richtig gewähltes und auf der Seite der niedergehenden Bewegung zugelegtes Uebergewicht wird wieder die frühere Beschleunigung herbeiführen. Man findet nun, dass dies allemal geschieht, so oft auf je 180 Grm. vertheilter Masse 1 Grm. als Uebergewicht in Wirksamkeit tritt. Kann die Schwere sämmtlicher 181 Grm. zu der Bewegung beitragen, so muss die Beschleunigung 181 mal grösser werden. Die Beschleunigung der Schwere ist demnach $c = 2 . 181$ Zoll $= 30{,}166$ Fuss; der Fallraum eines Körpers in der ersten Sekunde beträgt 15,083 Fuss Par. M.

Direkte Versuche über den freien Fall stimmen damit so ziemlich überein. Streng genommen ist jedoch der sogenannte freie Fall keine gleichförimg beschleunigte Bewegung, weil er keine ganz freie Bewegung ist, sondern durch die Luft mit der zunehmenden Geschwindigkeit mehr und mehr aufgehalten wird (174).

Die Gesetze des Falles sind zuerst von Galileo (1602) dargestellt und bewiesen worden.

Anwendungen: Wie hoch ist ein Thurm, von welchem eine Bleikugel binnen 5 Sekunden herabgefallen ist? Welche Geschwindigkeit erlangt ein Stein, der von 20 Fuss Höhe herabfällt? Welche Geschwindigkeit erlangt derselbe, wenn man ihn von derselben Höhe mit 5 Fuss Geschwindigkeit herabwirft? Von welcher Höhe hätte er herabfallen müssen, um eben diese Geschwindigkeit durch die Schwere allein zu gewinnen?

Die Beschleunigung der frei wirkenden Schwere dient als Masseinheit für andere beschleunigende Kräfte, ähnlich wie man bewegende Kräfte und Widerstände durch Gewichte misst (100).

110. Wenn verschiedene Körper sich mit gleicher Beschleunigung bewegen, so müssen ihre Massen sich verhalten, wie die sie bewegenden Kräfte, denn je gleiche Quantitäten träger Massen bedürfen gleicher bewegender Kräfte, um in derselben Zeit einerlei Geschwindigkeit zu erhalten.

Dieser Satz ist eigentlich nur ein veränderter Ausdruck des Gesetzes der Trägheit (105), und fliesst daher aus letzterem als eine nothwendige Folge.

Die Fallmaschine als ein Mittel betrachtet, die Schnelligkeit (Intensität) des Falles zu vermindern, ohne doch die Gesetze zu ändern, nach welchen er vor sich gehen muss, ist eine Anwendung dieses Satzes.

111. Es ist bisher angenommen worden, dass die Masse eines jeden Körpers proportional sey seinem Gewichte (28), d. h. der Stärke der Erdanziehung auf die ganze Summe vorhandener materieller Theile. Wenn diese Annahme richtig ist, müssen alle Körper ganz unabhängig von ihren übrigen Eigenschaften, mögen sie nun der freien Wirksamkeit der Schwere oder einer auf proportionale Weise veränderten Schwere ausgesetzt seyn, stets gleiche Beschleunigung, oder was dasselbe ausdrückt, in gleichen Fallzeiten gleiche Geschwindigkeiten gewinnen.

Die Versuche an der Fallmaschine entsprechen auf befriedigende Weise dieser Folgerung, denn sie erscheinen ganz unabhängig von der chemischen Beschaffenheit der bewegten Masse.

Auch im leeren Raume fallen alle Körper, z. B. Gold, Blei, Korkholz, Federn, mit gleicher Geschwindigkeit. In der Atmosphäre

dagegen werden Körper von ungleicher Dichtigkeit ungleich, und zwar ganz leichte Stoffe sehr merklich aufgehalten. Eine noch grössere Verschiedenheit zeigt sich bei'm Falle durch das Wasser.

Offenbar müssen also Flüssigkeiten auf fallende Körper von ungleicher Dichte einen ungleichen Widerstand äussern.

112. Bei Körpern, welche in die Höhe geworfen werden, wirkt die Schwere als Widerstand. Dieser Widerstand ist ein gleichförmig fortwirkender. Der aufsteigende Körper verliert daher in jeder Sekunde gleich viel (30 Fuss) von seiner anfänglichen Geschwindigkeit; so viel nämlich, als er frei fallend in derselben Zeit gewonnen haben würde (108). Die Aufsteigegeschwindigkeit muss daher nach einer Anzahl Sekunden $\left(t = \frac{C}{c}\right)$ völlig zernichtet werden und der während dieser Zeit nach oben zurückgelegte Weg (die sogenannte Steighöhe) genau derselbe seyn, welchen der Körper in derselben Zeit unter dem Einflusse der Schwere abwärts zurückgelegt haben würde (108 β, δ).

Diese Betrachtung zeigt nicht nur ein sehr einfaches Mittel, den Weg und die Geschwindigkeit eines aufsteigenden Körpers zu jeder Periode seiner Bewegung zu berechnen, sondern sie deutet auch den rechten Gesichtspunct an, von welchem aus im Allgemeinen der Einfluss der Widerstände aufgefasst werden muss:

Der Widerstand, durch den eine bewegte Masse in einer gewissen Zeit zur Ruhe gelangt, ist stets einer bewegenden Kraft gleich, welche derselben trägen Masse in derselben Zeit, eine ihrer anfänglichen gleiche Geschwindigkeit, aber in entgegengesetztem Sinne ertheilen würde.

Beispiel: Welche Höhe würde eine mit 600 Fuss Geschwindigkeit aufsteigende Büchsenkugel im luftleeren Raume erreichen können? — Um diese Geschwindigkeit zu erlangen, muss ein Körper von der Höhe (108 δ) $S = \frac{(600)^2}{60}$ = 6000 herabfallen. Dies ist also die Steighöhe. Bei unveränderter Steige-Geschwindigkeit, d. h. ohne den Widerstand der Schwere, würde die Kugel in derselben Zeit die doppelte Höhe erreicht haben.

Die Widerstände vermindern die anfängliche Geschwindigkeit eines bewegten Körpers nicht immer gleichförmig, d. h. sie wirken nicht immer als gleichförmig verzögernde Kräfte. Immer aber lässt sich die Gesammtgrösse ihrer Wirksamkeit während einer gewissen Zeit (der ganze Geschwindigkeitsverlust des bewegten Körpers) der Wirkung eines Gewichtes (eines Druckes) vergleichen, welches in derselben Zeit demselben Körper eben die Geschwindigkeit ertheilen könnte, die durch die Widerstände verzehrt worden ist.

Beispiel: eine Masse von 12,000 Pfund (etwa ein beladener Wagen) hat die Geschwindigkeit von 40 Fuss angenommen. Wie gross muss ein fortwirkender Widerstand seyn, damit binnen 10 Secunden die Ruhe wieder hergestellt werde? — Diese Frage ist gelöst, wenn man ausfindig gemacht hat, durch welchen gleichförmig anhaltenden Gegendruck der Masse eine Geschwindigkeit von 40 Fuss in 10 Secunden ertheilt werden kann. Die dazu nöthige Beschleunigung ist

4 Fuss, denn 40 = 4.10. Diese Beschleunigung ist nun $^4/_{10}$ von derjenigen der Schwere, folglich die gesuchte Kraft als Gewicht ausgedrückt, $^4/_{10}$ von 12,000 Pfund = 1600 Pfund.

Da sich die einer Masse M (nämlich einer Masse, welche als schwerer Körper M Pfund wiegt) ertheilten Beschleunigungen wie die bewegenden Kräfte verhalten (109), so ist im Allgemeinen die einer Kraft k entsprechende Beschleunigung $c = c\frac{K}{M}$.

Daher die Geschwindigkeit nach t Secunden $C = c\frac{K}{M}t$ (α); der Weg nach dieser Zeit $S = \frac{c\,K}{2\,M}t^2$ (β); woraus sich ferner die abgeleiteten Gleichungen (108) $C = \sqrt{2\,c\frac{K}{M}\,S}$ (γ) und $s = \frac{C^2 M}{2\,c\,K}$ (δ) ergeben.

113. Einer ruhenden Körpermasse kann eine gewisse Geschwindigkeit der Bewegung niemals plötzlich, sondern nur durch allmählige Uebergänge ertheilt werden, ebenso wie ein bewegter Körper immer nur allmählig zur Ruhe zurückkehrt.

Dieser Satz ist nur eine Umschreibung des schon in 101 ausgedrückten Grundsatzes: dass die Kräfte in der Zeit wirken. Derselbe wird jetzt vollkommen verständlich sein.

114. Da die Grösse der Geschwindigkeit, welche einer gegebenen Körpermasse ertheilt werden kann, im zusammengesetzten Verhältnisse steht: der bewegenden Kraft und der Wirkungszeit (107), so folgt: dass eine jede Verminderung der einen dieser Grössen durch proportionale Vermehrung der andern wieder ersetzt werden kann; d. h. so lange das Product, welches durch Multiplikation der Kraft mit der Zeit erhalten wird, ungeändert bleibt, wird auch die einem Körper ertheilte Endegeschwindigkeit sich nicht ändern.

Beispiel: Die Kraft des Schiesspulvers ist so gross, dass z. B. die Wände einer Kugelbüchse bei weitem nicht fest genug seyn würden, um zu widerstehen, wenn die ganze Ladung sich auf einmal entzünden und mithin die ganze Kraft auf einmal sich frei äussern könnte. Aus diesem Grunde ist die Zusammensetzung und Bereitungsweise des Schiesspulvers darauf berechnet, dass unbeschadet der Wirksamkeit die Entzündung einer gewissen, wenn auch sehr kurzen Zeit bedarf, dergestalt dass ein Theil der entwickelten Kraft bereits in die Kugel übergegangen ist, und sich in Geschwindigkeit verwandelt hat, während der andere sich erst erzeugt. Das geringe Stossen bei sehr grosser Triebkraft gut gezogener Kugelbüchsen beruht darauf, dass vermöge der Schraubenwindung die Kugel genöthigt ist, in dem Rohr einen grösseren Weg zurückzulegen, und folglich länger darin zu verweilen, wodurch sie dem fortwirkenden Drucke des allmählig sich entzündenden Pulvers längere Zeit ausgesetzt bleibt. — Explodirende Substanzen, deren Zersetzung rascher als die des Schiesspulvers vor sich geht, z. B. Pulver, welchem chlorsaures Kali beigemischt ist, Knallsilber u. a. m., können zum Schiessen nicht benutzt werden, weil sie die Büchsen zersprengen, bevor die Kugel Zeit hat heraus zu fliegen.

Bewegungsgrösse. Stoss unelastischer Körper.

115. Die Geschwindigkeit, welche ein Körper unter dem Einflusse einer bewegenden Kraft in einer gegebenen Zeit annehmen kann, steht im umgekehrten Verhältnisse zur Grösse seiner Masse (102 *d*). Das Product der Multiplikation der Masse mit der Geschwindigkeit eines Körpers nennt man seine Bewegungsgrösse.

Beispiel: Eine Kugel von $\frac{1}{8}$ Pfund Masse bei 800 Fuss Geschwindigkeit besitzt die Bewegungsgrösse 100. Ein Stein von 20 Pfund, dem eine Geschwindigkeit von 5 Fuss beigebracht worden, besitzt ebenfalls die Bewegungsgrösse 100. Man kann sich daher vorstellen, dass beide Bewegungen durch gleiche Kräfte während gleicher Wirkungszeiten erzeugt sind. Denkt man sich beide einander entgegengesetzt, so müssen sie sich aufheben, d. h. zur Ruhe bringen.

116. Das Zusammentreffen zweier Körpermassen, von denen sich wenigstens die eine in Bewegung befinden muss, wird Stoss genannt. Die Wirkung des Stosses ist eine Uebertragung von Bewegung von einem Körper in die Masse des andern, welche so lange vor sich geht, bis beide Massen einerlei Geschwindigkeit besitzen. Die Zeit dieser Uebertragung, d. h. die Zeit vom Beginne des Stosses bis zur gänzlichen Beendigung aller Einwirkung, ist immer sehr kurz, jedoch niemals Null, wenn auch für unsere Sinne gewöhnlich verschwindend.

Wer hat nicht schon die Erfahrung gemacht, dass Personen, die sich in einem Schiffe oder Wagen befinden, bei plötzlichem Anhalten desselben eine Neigung empfangen, in der Richtung der früheren Bewegung hinzufallen? Der Grund ist, weil die mit dem Schiffe in unmittelbarer Berührung stehenden Körpertheile durch den Stoss früher als der Oberkörper aufgehalten werden. Ebenso erklärt sich die grosse Gefahr des Herausspringens aus einem schnell bewegten Wagen. — Man kann bekanntlich einen eisernen Hammer an seinem Stiele dadurch befestigen, dass man letzteren lose in die Hand fasst und auf das Ende desselben schlägt, oder umgekehrt, indem man dieses Ende mit einiger Heftigkeit gegen einen harten Gegenstand stösst. Im einen Falle theilt sich die Bewegung des Stiels nicht augenblicklich dem Hammer mit, im andern Falle wird die des ersteren früher unterbrochen als die des letzteren.

In ähnlicher Weise muss sich die Wirkung des Stosses (Schlages) zuerst immer nur auf einzelne Theile der gestossnen Masse übertragen, und von diesen allmählig auf andere Theile fortpflanzen. Das, was man Erschütterung nennt, ist die Folge dieser Ungleichzeitigkeit in der Einwirkung des Stosses auf die verschiedenen Theile eines Körpers.

Störung des Zusammenhanges durch Stoss.

117. Da sich die Bewegungsgrösse einer Körpermasse mit gleichem Rechte als die Wirkung einer geringen Kraft, die lange Zeit thätig war, oder auch einer grossen Kraft bei geringer Wirkungszeit betrachten lässt, so kann man sich immer vorstellen, dass der stossende Körper gleich einer bewegenden Kraft wirke, von sehr grosser Stärke, aber verhältnissmässig kurzer Zeit.

Beispiel: Ein dünner Bindfaden, an einem Körper von mässigem Gewichte befestigt, so dass er denselben sicher trägt, kann durch rasches Anziehen zer-

rissen werden, ohne merkliche Erschütterung des Gewichtes, weil die Bewegung der Hand, ursprünglich durch keine bedeutende Kraft erzeugt, im Augenblicke, da sich der Faden spannt und der Stoss erfolgt, sich als ein Druck von so bedeutender Stärke äussert, dass die Festigkeit des Fadens selbst nicht eine ganz kurze Zeit widerstehen kann.

Man wird sich jetzt leicht erklären, warum an und für sich geringe Kräfte, wenn sie als Stoss wirken, oft sehr grosse Widerstände zu überwältigen vermögen. Durch Hammerschläge z. B. lässt sich ein Balken verrücken, den die vereinte Kraft mehrerer Menschen nicht bewegen kann. Eintreiben der Nägel mit dem Hammer. Einrammen zugespitzter Pfähle u. s. w.

118. Durch den Stoss empfängt der eine Körper Bewegung nur dadurch, dass der andere eben so viel und in derselben Richtung verliert, ganz so, als habe eine und dieselbe Kraft gleichzeitig in beide Massen, aber in entgegengesetztem Sinne, eingewirkt. Man findet daher die einer ruhenden Masse durch den Stoss mitgetheilte Geschwindigkeit, indem man die Bewegungsgrösse der stossenden durch die Summe beider Massen dividirt.

Gewalt grosser Massen, selbst bei langsamer Bewegung. Der Strom der Lava. Eisgang. Stoss grosser Schiffe gegen kleinere Fahrzeuge, schwer beladener Fuhrwerke gegen Widerstände auf der Strasse.

Waren beide Massen vor dem Stosse nach gleicher Richtung in Bewegung, so wird die Summe dieser Bewegungen auch nach dem Stosse noch vorhanden seyn.

Bewegten sich beide Massen gegen einander, so bleibt nur der Unterschied beider Bewegungsgrössen übrig.

Allgemein wird die Geschwindigkeit beider Massen nach dem Stosse gefunden, indem man die Summe oder die Differenz der Bewegungsgrössen durch die Summe der Massen dividirt.

Beispiel: Die Masse 9 Pfund mit der Geschwindigkeit 15 Fuss, holt die Masse 6 Pfund bei 10 F. Geschwindigkeit ein. Ihre gemeinschaftliche Geschwindigkeit nach dem Stosse ist $\frac{9.15 + 6.10}{9 + 6} = 13$ Fuss. Stossen beide gegen einander, so ist die Geschwindigkeit nach beendigter Einwirkung $\frac{9.15 - 6.10}{9 + 6} = 5$ Fuss.

Diese Rechnung gibt übrigens nur das unmittelbare Resultat der wechselseitigen Uebertragung von Bewegung zweier trägen Massen. Die Endewirkung fällt wegen des Einflusses der Elasticität meistens anders aus.

Vom Gleichgewichte.

119. Gleiche an der Rolle hängende Gewichte halten einander im Gleichgewichte, weil, wenn z. B. das eine um 10 Fuss sinken soll, das andere um 10 Fuss steigen muss, mithin während der Bewegung dieser beiden Kräfte in ihren Richtungen, gleichzeitig stets gleiche Wirkungen, aber in entgegengesetztem Sinne entstehen.

Das Gleichgewicht wird auch dann ungestört bleiben, wenn man das steigende Gewicht, sobald es einen Fuss Weg zurück-

gelegt hat, mit einem andern von ganz gleicher Beschaffenheit verwechselt. Man ist auf diese Weise im Stande, durch 1 Pfund, das 10 Fuss niedersinkt, je 10 Pfund 1 Fuss hoch, oder auch je 5 Pfund 2 Fuss hoch u. s. f. zu heben.

120. Das Product einer Kraft in den Weg, den sie in ihrer Richtung, im positiven oder negativen Sinne, zurücklegt, heisst ihr Bewegungsmoment (mechanisches Moment) oder auch ihr Bewegungseffect.

Z. B. Ein Gewicht von 10 Pfund, das 20 Fuss niedersinkt oder steigt, hat das Bewegungsmoment $10.20 = 200$. Dasselbe Gewicht 10 Fuss in horizontaler Richtung fortbewegt, entspricht (als schwerer Körper) gar keinem Bewegungsmomente, weil es in der Richtung seiner Wirksamkeit, nämlich in der der Schwere, weder gehoben noch gesenkt wurde.

121. Die Erfahrungssätze von Nr. 119 zeigen, dass ein Gewicht, dessen Bewegungsmoment gleich 10 (1 Pfund 10 Fuss hoch), fähig ist, ein beliebiges anderes Gewicht so hoch zu heben, dass das Product des letzteren in den von ihm zurückgelegten Weg ebenfalls gleich 10 wird. Wir werden dadurch zu dem Schlusse berechtigt, dass überhaupt: gleiche Bewegungsmomente gleichen Wirkungen entsprechen und also, einander entgegengesetzt, ein Ausdruck des Gleichgewichtes sind.

122. Wenn man das niedergehende Gewicht an der Rolle durch irgend eine andere Kraft, etwa die Muskelkraft der Hand, ersetzt, so wird auch jetzt noch das steigende Gewicht um eben so viel Fuss gehoben, als die andere gleich grosse Kraft niedersinkt. Diese letztere Kraft pflegt man die Betriebskraft, das gehobene Gewicht aber, oder jeden andern seine Stelle vertretenden Widerstand, die Last zu nennen. Die hervorgehende Wirkung, zumal wenn sie zu irgend einem nützlichen Zwecke dient, heisst Arbeit.

Diesen Begriff von Arbeit allgemeiner aufgefasst, besteht die Arbeit der Betriebskraft in Erzielung eines ihrem eigenen Bewegungsmomente oder Bewegungseffecte gleichen Lastmomentes oder Nutzeffectes.

Man schätzt den Wirkungswerth verschiedener Betriebskräfte nach der Grösse ihrer Bewegungsmomente oder nach der Grösse der Arbeit, welche sie vollbringen können. Benutzt man z. B. einen niedersinkenden Körper als Betriebskraft, so ist sein Wirkungswerth gleich seinem Gewichte multiplicirt in die Höhe, um welche er sinken kann.

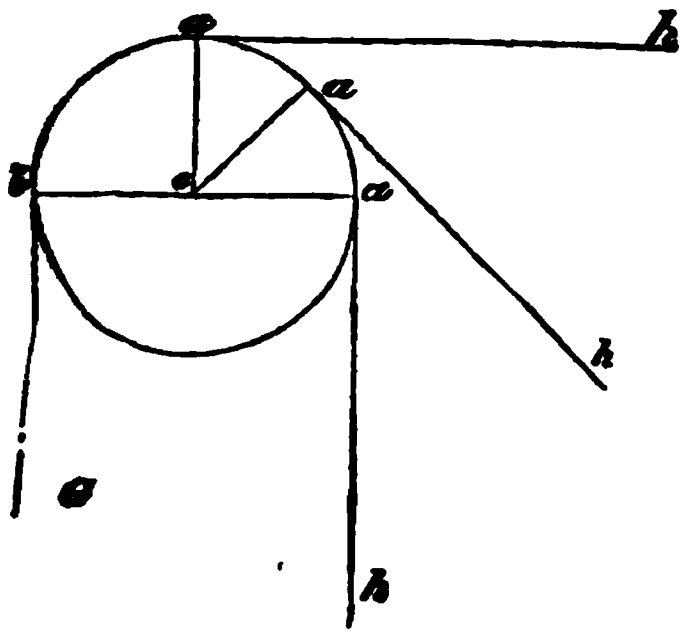
Die menschliche Muskelkraft besitzt das Eigenthümliche, sich bei einiger Uebung fast mit gleicher Leichtigkeit und mit gleichem Erfolge nach jeder Richtung hin äussern zu können. Mag nun diese Kraftäusserung von einer blossen Bewegung der Hände oder auch des ganzen Körpers begleitet seyn, so lehrt die Erfahrung, dass der Bewegungseffect gesunder Männer, auf die Sekunde Arbeitszeit berechnet, durchschnittlich einem Gewichte von 30 Pfund 2,5 Fuss hoch, oder von 75 Pfund 1 Fuss hoch, gleich gesetzt werden kann. Dabei ist angenommen, dass dieser Bewegungseffect täglich, während 8 Stunden sich von Sekunde zu Sekunde erneuern könne. Diese ganze Anzahl von Se-

kunden, multiplicirt mit dem Effecte einer Sekunde, bezeichnet den täglichen Arbeitseffect eines männlichen Arbeiters.

Die Betriebskraft der Pferde zeigt sich am wirksamsten in wagerechter Richtung als Zugkraft. Ihr Bewegungsmoment, bezogen auf Pferde von mittlerer Stärke und auf die Sekunde Arbeitszeit, ist einem Gewichte von 125 Pfund, welches 4 Fuss hoch gehoben wird, oder der Zahl 500 zu vergleichen. Dieser Nutzeffect so viel mal genommen, als die ganze tägliche Arbeitszeit von 8 Stunden Sekunden zählt, wird gewöhnlich schlechthin eine Pferdekraft (täglicher Arbeitseffect eines Pferdes) genannt.

123. Die Bedingung des Gleichgewichtes gleicher Kräfte an der Rolle ist ganz unabhängig von der Richtung, worin diese Kräfte wirksam sind. Welche immerhin diese Richtungen seyn mögen, es wird Gleichgewicht stattfinden, sobald keine der beiden Kräfte in ihrer Richtung einen Weg zurücklegen kann, ohne die andere zu nöthigen, in der dieser zugehörenden Richtung, jedoch in entgegengesetztem Sinne, einen gleich grossen Weg zu beschreiben.

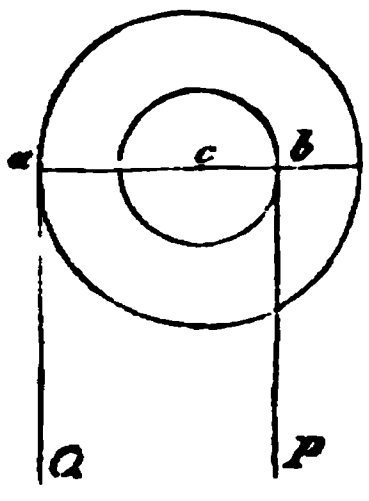
Fig. 8.



Um z. B. das Gewicht *G* an der Rolle aufzuziehen, wird es ganz gleiche Anstrengung erfordern, in welcher der verschiedenen Richtungen *a h* die Hand wirken mag; oder der Faden *a h* wird stets durch einen gleichen, dem Gewichte *G* entsprechenden Druck gespannt seyn. Dieses Experiment zeigt die Möglichkeit, einen gegebenen Druck nicht nur nach seiner Richtung, sondern nach jeder beliebigen Richtung mit unveränderter Stärke fortzupflanzen. Anwendung von Rolle und Seil, um Kräfte zu leiten und um ihre Richtung zu verändern.

124. Man gebe zweien Rollen von ungleichen Durchmessern einen gemeinschaftlichen Mittelpunct, wie in Fig. 9, und befestige sie so an einander, dass keine sich ohne die andere um den festen Mittelpunct herum bewegen kann. Von der einen hänge ein Gewicht *Q*, von der andern ein Gewicht *P* herab. Diese ungleichen Kräfte werden einander das Gleichgewicht halten, wenn ihr Grössen-Verhältniss das umgekehrte ist der Wege, die bei eintretender Bewegung, die eine, z. B. *Q*, im positiven, die andere, *P*, im negativen Sinne, eine jede in ihrer Richtung zurücklegen müssen; denn in diesem Falle sind ihre Bewegungsmomente gleich. Man sieht leicht ein, dass diese Bedingung des Gleichgewichtes erfüllt ist, sobald beide Kräfte sich verhalten umgekehrt wie die Peripherien, oder umgekehrt wie die Halbmesser der Rollen.

Fig. 9.



Es sey der Halbmesser $a\ c = q$, der Halbmesser $c\ b = p$, so kann man setzen $Q : P = p : q$ oder auch $Q.\ q = P.\ p$ oder endlich $Q.\ 2\pi\ q = P.\ 2\pi\ p$; die letzte Gleichung bezeichnet die Gleichheit der Bewegungsmomente, die beiden ersten ergeben sich daraus als nothwendige Folgen.

Dieses Gleichgewichtsgesetz gilt übrigens für andere Kräfte mit demselben Rechte wie für Gewichte, und ist unabhängig von den Richtungen ihrer Wirksamkeit (123).

125. Der feste Punct, um welchen eine Rolle beweglich ist, heisst ihr Stützpunct. Wird derselbe durch eine feste, gerade, die Ebne der Rolle rechtwinklich durchschneidende und an zwei Puncten auf Unterlagen ruhende Linie ersetzt, so nennt man diese (oder richtiger die Axe des kleinen Cylinders, welcher sie bildet) die Drehaxe. Der Punct, an welchem die Richtung einer Kraft den Umkreis der zugehörigen Rolle berührt, heisst der Angriffspunct dieser Kraft. Die beiden geraden Linien, $a\ c$ und $b\ c$ (Fig 9), welche vom Stützpuncte nach den Angriffspuncten der Kräfte gezogen werden können, und die, vermöge ihrer Eigenschaft als Kreishalbmesser, auf den Richtungen der Kräfte winkelrecht stehen müssen, werden Hebelsarme genannt.

Das Product einer Kraft in ihren Hebelsarm heisst statisches Moment oder Moment der Ruhe.

Das ganze System der beiden einander das Gleichgewicht haltenden Kräfte heisst ein Hebel. Bilden beide Hebelsarme eine gerade Linie und liegt der Stützpunct zwischen den Angriffspuncten, wie in Fig. 9, so entsteht der doppelarmige Hebel.

Bilden zwar beide Hebalsarme eine gerade Linie, aber der Stützpunct liegt ausserhalb der Angriffspuncte a und b, wie in Fig. 10, so entsteht der einarmige Hebel.

Fig. 10.

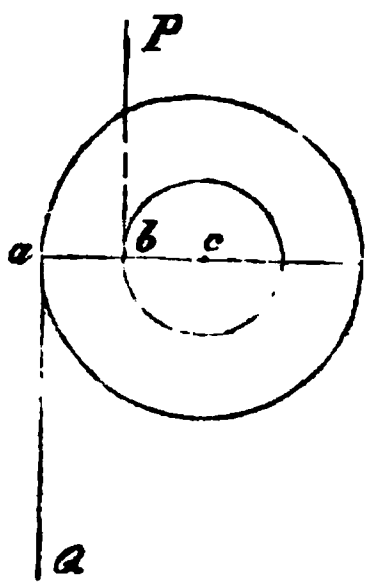
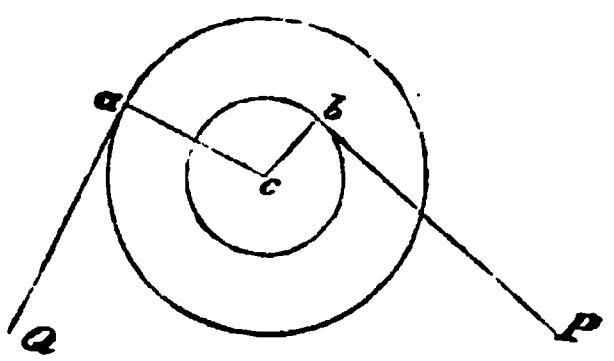


Fig. 11.



Bilden beide Hebelsarme einen Winkel wie $a\ c$ und $c\ b$ in Fig. 11, so entsteht der Winkelhebel.

126. Zwei Kräfte am Hebel müssen einander das Gleichgewicht halten, wenn eine oder die andere der folgenden von einander abhängigen Bedingungen eintritt:

1) **Wenn die Bewegungsmomente oder mechanischen Momente beider Kräfte gleich und entgegengesetzt sind.**
2) **Wenn ihre statischen Momente gleich sind.**
3) **Wenn die Kräfte sich verhalten, umgekehrt wie ihre Hebelsarme, oder umgekehrt wie die Räume, welche sie bei eintretender Bewegung beschreiben müssen.**

Man sieht leicht ein, dass diese Gleichgewichts-Bedingungen nicht an die Form der Rollen geknüpft sind, und daher überall eintreten können, wo Kräfte eine Drehung in entgegengesetztem Sinne und um denselben festen Punct zu bewerkstelligen streben. Da aber jeder Hebelsarm als ein Kreishalbmesser angesehen werden kann, so lässt sich auch jeder Hebel auf ein System concentrischer Rollen zurückführen.

Das Gesetz des Hebels bildet einen der wichtigsten und fruchtbarsten Lehrsätze der Physik, nicht nur als Grundlage zur Erklärung einer grossen Menge anderer Gleichgewichtsverhältnisse, sondern auch wegen der zahlreichen und höchst mannichfaltigen praktisch nützlichen Anwendungen, die man davon macht.

Von der einfachen Hebe- und Brechstange bis zu den zusammengesetztesten Maschinen gibt es kaum ein Werkzeug, das sich nicht als eine Anwendung des Hebels darstellen liesse. Wo z. B. findet sich der Stützpunct, wo die Angriffspuncte der Kräfte beim Gebrauche des Messers, der Scheere, der Zange, des Schlüssels, des Ruders, des Schiebkarrens u. s. w.?

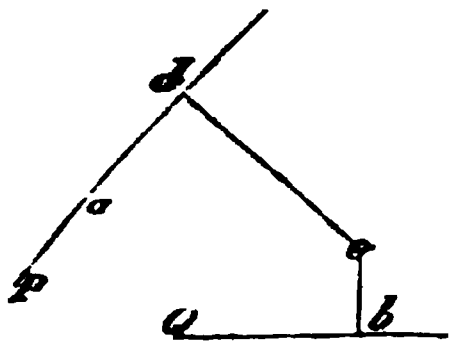
Mit dem Worte Maschinen bezeichnet man Vorrichtungen, die einestheils dienen sollen, die Betriebskräfte fort zu leiten, und denselben eine zur Vollführung einer Arbeit möglichst nützliche Richtung zu geben, anderntheils aber auch die Bestimmung haben, bald die Geschwindigkeit, bald die Stärke der Betriebskraft auf eine zweckdienliche Weise zu verändern. — Das Bewegungsmoment (oder den Bewegungseffect) der Kraft durch Anwendung einer Maschine zu vergrössern, ist unmöglich; es wird im Gegentheile gezeigt werden, dass das zum Vorschein kommende nützliche Lastmoment auch unter den günstigsten Umständen immer weniger beträgt, als man aus der Grösse der Betriebskraft schliessen muss.

Maschinen, bei welchen nur ein einziger Stützpunct vorkommt, werden einfache Maschinen genannt. Dahin gehören: die Rolle, das Rad an der Welle (Haspel, Winde), als unmittelbare Anwendungen des Hebels.

Bei den zusammengesetzten Maschinen finden sich immer mehrere Unterstützungspuncte. Die meisten lassen sich als Verbindungen mehrerer Hebel betrachten, wie der Flaschenzug, der Kranich, der Pferdegöpel (Rosskunst) und alles in einander greifende Räderwerk.

Der Gebrauch unserer Glieder, beim Fortbewegen, Tragen, Heben, Drücken, Ziehen u. s. w., liefert zahlreiche belehrende Beispiele von Anwendungen des Hebels.

Fig. 12.



Wenn ein beliebig gestalteter Körper an einem Puncte irgendwie gestützt ist, und an einer andern Stelle einen Druck erleidet, so zeigt das Gesetz des Hebels, welcher Widerstand an einer beliebig angenommenen dritten Stelle angebracht werden, und in welcher Richtung er wirken muss, um jenem Drucke das Gleichgewicht zu halten. Es sey z. B. *o* der Stützpunct, bei *a* wirke ein Druck *P* in der Richtung der Linie *a d*; bei *b* soll sich der Widerstand befinden. Man ziehe *o d* winkelrecht auf *a d*; man verbinde *o b* und ziehe *Q b* win-

kelrecht auf $o\ b$. Ein Widerstand Q von Q nach b wirksam, wird das Gleichgewicht erhalten, wenn $Q = \frac{P.\ o\ d}{o\ b}$ (125 Winkelhebel).

Wir sind auf diese Weise im Stande, die Wirksamkeit einer Kraft, die sich auf einen gewissen Punct des gestützten Körpers äussert, nach einem beliebigen andern Puncte desselben zu verpflanzen. Die Grösse des Druckes, welcher an dieser andern Stelle zum Vorschein kommt, wird in manchen Fällen die reducirte Kraft genannt. Eine gegebene Kraft an eine gewisse andere Stelle zu reduciren, heisst daher nichts Anderes, als die Grösse ihres Einflusses an dieser andern Stelle durch Rechnung finden.

Durch Vermittlung des Hebels kann ein gegebener Druck in jeden andern noch so grossen Druck verwandelt werden. Da jedoch der Bedingung: Gleichheit der Bewegungsmomente, stets genügt werden muss, so folgt, dass die Bewegung an der Wirkungsstelle in demselben Verhältnisse abnehmen muss, als der Druck an dieser Stelle sich mehrt.

127. Zwei gleichlaufende Kräfte, deren Wirksamkeit nach derselben Seite hin gerichtet ist, äussern auf denjenigen Punct, um welchen, als Stützpunct betrachtet, sie sich im Gleichgewichte halten würden, einen Druck, dessen Richtung der ihrigen entsprechend und dessen Grösse ihrer Summe gleich ist. Dieser Satz fliesst als einfache Folgerung aus dem Gesetze des Hebels.

Der gemeinschaftliche Wirkungspunct zweier gleichgerichteten Kräfte wird ihr Schwerpunct genannt.

Man findet den Schwerpunct zweier Kräfte, indem man ihre Angriffspuncte durch eine gerade Linie verbindet, und diese in zwei Stücke theilt, welche sich umgekehrt wie die Kräfte verhalten. Der Theilungspunct ist der Schwerpunct.

128. Jede beliebige Anzahl gleichgerichteter Kräfte, also jeder schwere Körper, was immerhin seine Gestalt sey, besitzt einen Schwerpunct, d. h. einen Punct, worin man sich gleichsam die Summe sämmtlicher Kräfte oder das ganze Gewicht des Körpers vereinigt denken kann.

Der Druck schwerer Körper lässt sich daher immer so ansehen, als gehe er von einem einzigen Puncte, dem Schwerpuncte, aus. Berechnung des Druckes, den ein schwerer, an mehreren Puncten gestützter Körper auf jeden seiner Unterstützungspuncte ausübt, z. B. eines Balkens auf seine Unterlagen.

129. Ein in seinem Schwerpuncte gestützter Körper verharrt in jeder Lage im Gleichgewichte.

Eine lothrechte, durch den Schwerpunct gehende gerade Linie heisst die Richtungslinie der Schwere eines Körpers, oder Schwerlinie.

Körper, welche weder im Schwerpunct selbst, noch in der Richtungslinie ihrer Schwere gestützt sind, können in keiner Lage im Gleichgewichte verharren.

Wenn man einen Körper an einem Faden aufhängt, so muss, bei eingetretenem Ruhezustande, sein Schwerpunct in die Verlängerung des Fadens fallen. Wird er daher nach einander an zwei verschiedenen Puncten aufgehängt, so müssen die Verlängerungen beider Lothe einander im Schwerpuncte durchschneiden. Die Lage des letzteren wird dadurch bestimmt.

Bei solchen Körpern, deren Gestalt mathematisch bestimmbar, und deren Raum von einer überall gleich dichten Masse erfüllt ist, lässt sich der Schwerpunct durch Construction und Rechnung finden. Zuweilen ist dieses Verfahren sehr einfach; es lässt sich z. B. leicht beweisen, dass der Mittelpunct des Kreises, der Kugel und jeder regelmässigen Figur zugleich der Schwerpunct ist; dass der Schwerpunct von Prismen und Cylindern in ihrer halben Höhe, der des Dreiecks in dem dritten Theile seiner Höhe, der der Pyramide und des Kegels im vierten Theile ihrer Höhe liegt. Ferner ist leicht einzusehen, dass der Schwerpunct aller solchen Körper, die man sich durch Umdrehung einer Fläche um eine feste Linie erzeugt vorstellen kann, in dieser Linie selbst liegen muss.

130. **Die Lage des Schwerpunctes ist von wesentlichem Einflusse auf die Fähigkeit eines Körpers, äusseren Einwirkungen, welche ihn zu drehen oder umzuwerfen streben, einen Widerstand entgegenzusetzen. Standfähigkeit (Stabilität).**

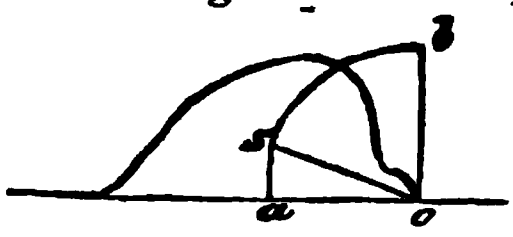
Ein Körper kann nicht umfällen, so lange er in der Richtungslinie seines Gewichtes unterstützt ist. Dass er fest stehe (Standfähigheit besitze), kann man aber nur dann sagen, wenn er äusseren Einwirkungen nach jeder Richtung hin einen Widerstand entgegensetzt.

Körper, welche nur im Schwerpuncte gestützt sind, verhalten sich gegen äussere Eindrücke gleich trägen Massen; sie leisten gar keinen Widerstand. Z. B. ein Prisma, eine Rolle, ein Cylinder, die auf einer festen, ihren Schwerpunct durchschneidenden Axe ruhen, können durch die geringsten Kräfte gedreht, und dadurch in eine neue Gleichgewichtslage versetzt werden.

Ueberhaupt können Körper, die nur in einem Puncte in der Richtungslinie ihres Gewichtes gestützt sind, keinen festen Stand behaupten. Befindet sich der Stützpunct unter dem Schwerpuncte, so werden sie durch die geringste Kraft umgedreht oder umgeworfen, wie eine Kugel oder ein Rad auf ebner Fläche. Auf der Geschicklichkeit, den Stützpunct in der Richtungslinie zu erhalten, beruht die Kunst des Balancirens. Befindet sich der Stützpunct eines Körpers über dem Schwerpuncte, so kann er zwar nicht umgeworfen werden, sondern zeigt ein beharrliches Streben, in die ursprüngliche Gleichgewichtslage zurückzukehren, so oft er daraus entfernt worden ist; gleichwohl sind sehr geringe Kräfte ausreichend, um eine Verrückung zu bewirken. Pendel, Wage und überhaupt hängende Körper.

131. Alle Körper, welche wenigstens auf drei Puncten, die ein Dreieck bilden, d. i. auf einer Fläche ruhen, und deren Schwerlinie in diese Fläche fällt, stehen fest. Denn um einen solchen Körper umwerfen zu können, muss er um eine der Gränzlinien seiner Grundfläche, z. B. um die Kante 0 (Fig. 13) gedreht, folglich der Schwerpunct um die Höhe 0 *b* — *a s* gehoben werden.

Fig. 13.



Unter zwei Körpern von gleichem Gewichte wird derjenige am festesten stehen, dessen Schwerpunct am meisten gehoben werden muss, um ihn in die Lage senkrecht über die Drehkante zu bringen; also derjenige, dessen Schwerpunct am tiefsten liegt und dessen Schwerlinie am weitesten von der Drehkante absteht.

Das Product der Multiplikation des Gewichtes eines Körpers mit dem Abstande (*a* 0 Fig. 13) seiner Schwerlinie von der Drehungskante wird das statische Moment der Standfähigkeit genannt.

Das statische Moment einer Kraft, welche den Körper um eine seiner Kanten drehen soll, muss dem Momente seiner Standfäkig-

keit, bezogen auf diese Kante, gleich seyn. — Ein Körper kann nach der Seite hin keinen Widerstand leisten, nach welcher das Moment seiner Standfähigkeit Null ist.

Anwendungen auf den ungleich festen Stand der Körper je nach der Grösse und Lage ihrer Grundfläche zu ihrer eignen Grösse und Gestalt. Z. B. lange drei- oder vierseitige Säulen stehen auf einer ihrer Basen weniger fest, als auf einer ihrer Seitenflächen; abgestumpfte Pyramiden oder Kegel stehen fester auf der grossen, als auf der kleinen Basis. Mauern mit Strebepfeilern. Schiefe Thürme. — Hochbeladene Frachtwagen sind dem Umwerfen leichter ausgesetzt, als wenn sie eben so schwer mit dichteren Stoffen beladen sind.

Die physische Kraft des menschlichen Körpers eignet sich besser zum Tragen, als zum Ziehen; die der vierfüssigen Thiere besser zum Ziehen, als zum Tragen.

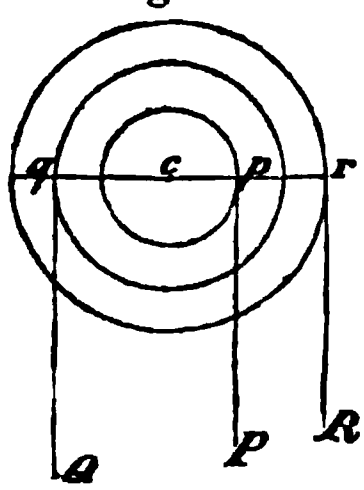
Die Bewegung unseres Körpers ist bei jedem Schritte von einem Heben und darauf folgenden Senken des Schwerpunctes begleitet. Wir erleichtern uns das Gehen, indem wir durch Vorneigen des Oberkörpers den Schwerpunct mehr nach Vorne bringen, und indem wir durch geeignetes Biegen und Strecken der Kniee das Heben und Senken des Schwerpunctes vermindern. — Auf- und Absteigen der Berge. — Mehr oder weniger fester Stand des menschlichen Körpers je nach der Stellung der Füsse.

132. Das Gesetz des Hebels lässt sich auf drei, vier und jede Anzahl Kräfte, deren Bewegungen von einander abhängig sind, ausdehnen. Es kann in dieser allgemeineren Form folgendermassen ausgedrückt werden:

Mehrere Kräfte, welche ein bewegliches System um eine feste Axe zu drehen streben, werden einander im Gleichgewichte halten, wenn die Summe ihrer Bewegungsmomente gleich Null ist, d. h. wenn die Bewegungen im positiven Sinne diejenigen im negativen Sinne aufheben.

Man denke sich z. B. drei zusammenhängende Rollen (Fig. 14) von ungleichen Durchmessern, die sich um die gemeinschaftliche Axe c bewegen. Um jede Rolle ist ein Faden geschlungen und ein Gewicht angehängt, in der Weise, dass, wenn während der Umdrehung P und R niedergehen, das dritte Gewicht Q aufgewunden wird. Es muss nun Gleichgewicht stattfinden, wenn R multiplicirt mit dem Wege, den es z. B. für eine volle Umdrehung gehoben wird, gleich ist der Summe der Producte der beiden andern Kräfte in die von ihnen zurückgelegten Wege. Denn unter dieser Bedingung sind die eingetretenen Wirkungen gleich und entgegengesetzt. Es findet aber auch Gleichgewicht statt, wenn die statischen Momente zusammen addirt gleich Null sind, oder wenn

Fig. 14.



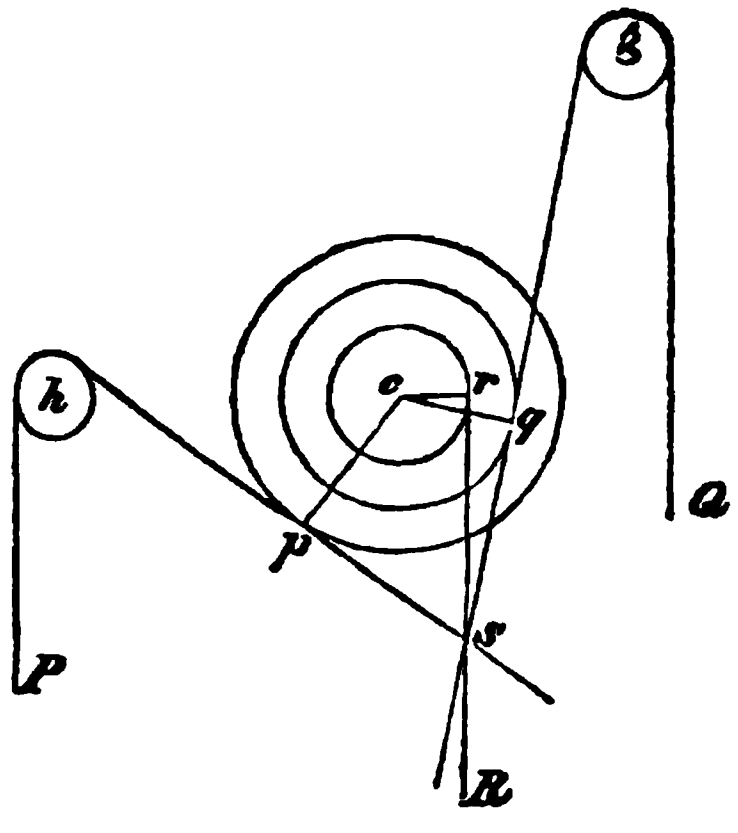
$$Q.\,q\,c = P.\,p\,c + R.\,r\,c.$$

Legt man dem einen oder andern Gewichte etwas zu, so ist kein Gleichgewicht mehr möglich, vielmehr werden dann alle Theile des beweglichen Systems eine beschleunigte Bewegung, theils sinkend, theils steigend, annehmen. Die hierdurch eingetretene Wirkung ist jedoch immer von der Art, dass sie durch eine neue Kraft im entgegengesetzten Sinne wirksam, deren Bewegungseffect (Product der Kraft in den in ihrer Richtung zurückgelegten Weg) dem des früheren Uebergewichtes gleich kommt, vollständig wieder aufgehoben werden kann. Dieses Verhalten lässt sich mittelst der Fallmaschine leicht anschaulich machen, wenn man die einfache Rolle mit einer zusammengesetzten vertauscht.

133. Das verallgemeinerte Hebelsgesetz bleibt wahr, ganz un-

abhängig von der Richtung, in welcher jede der Kräfte (z. B. an der ihr zugehörigen Rolle) wirksam ist, denn diese Richtung hat keinen Einfluss auf die während einer Umdrehung abgewickelten Fadenlängen, d. h. auf die Grösse der zurückgelegten Wege, und stets kann man solche Kräfte, welche sich im positiven Sinne ihrer Richtung bewegen, mit fallenden Gewichten, solche die sich im negativen Sinne ihrer Richtung bewegen mit steigenden Gewichten vergleichen.

Fig. 15.



Unter den zahllosen Richtungen, nach welchen sich drei Kräfte P, Q und R um den festen Punct c (Fig. 15) im Gleichgewicht halten können, unter der Bedingung, dass ihre Bewegungsmomente einander zu Null ergänzen, oder dass die Effecte im positiven Sinne diejenigen im negativen aufheben, wollen wir insbesondere den Fall hervorheben, dass die verlängerten Richtungen der drei Kräfte in einem Puncte s zusammentreffen. Man kann sich in diesem Falle sämmtliche Kräfte in den Durchschnittspunkt versetzt denken, und man sieht sogleich ein, dass nunmehr die Bedingung des Gleichgewichtes erfordert, entweder, dass die in s vereinigten Kräfte nach keiner Richtung einen Druck ausüben oder dass der gemeinschaftliche Druck den sie hervorbringen, in der Richtung von s nach c statt findet, wo er durch den Widerstand der Axe aufgehoben wird. Tritt das erstere ein, so halten sich die Kräfte unter einander im Gleichgewicht; macht man z. B. s Knotenpuncte dreier Schnüren und lässt an jeder derselben eine der Kräfte, genau nach ihrer früheren Richtung, wirken, so dauert das Gleichgewicht fort, selbst nach Entfernung des festen Punctes c.

Halten sich drei oder mehrere bewegende Kräfte nicht schon in einem Puncte ausserhalb der festen Axe im Gleichgewichte, so darf man den Widerstand der letzteren immer als eine Kraft betrachten, die während der Bewegung der andern Kräfte, einer jeden in ihrer Richtung, selbst keinen Weg zurücklegt, deren Bewegungsmoment also Null ist.

Hieraus fliesst folgender, ganz allgemein geltende Lehrsatz:

Drei oder mehr Kräfte, deren Wirksamkeit auf einen und denselben Punct gerichtet ist, oder von diesem Puncte ausgeht, halten einander im Gleichgewichte, wenn die Producte dieser Kräfte, je in die Wege, welche sie bei eintretender Bewegung gleichzeitig, jede in ihrer Richtung zurücklegen müssten oder auch wirklich zurücklegen, einander zu Null ergänzen.

Bei schweren Körpern, die sich um eine feste Axe im Gleichgewicht halten, kann man den Mittelpunct der Erde als denjenigen Punct betrachten, gegen welchen sich ihre gemeinschaftliche Wirksamkeit richtet, oder von welchem sie ausgeht.

134. Wenn die Wirkungen zweier Kräfte, P und Q, (Fig. 16) gegen denselben Punct 0 gerichtet sind, so nennt man die Richtung ihrer gemeinschaftlichen Wirksamkeit, welche 0 R seyn mag, die mittlere Richtung; der Druck, welchen beide Kräfte, die Seitenkräfte, gemeinschaftlich in der mittleren Richtung ausüben, heisst die mittlere oder resultirende Kraft. Eine gleich grosse Kraft, R im entgegengesetzten Sinne hält beiden Kräften das Gleichgewicht. Jede der drei Kräfte, P, Q und R, die einander das Gleichgewicht halten, kann übrigens als eine, der Resultirende der beiden andern gleiche und entgegengesetzte angesehen werden.

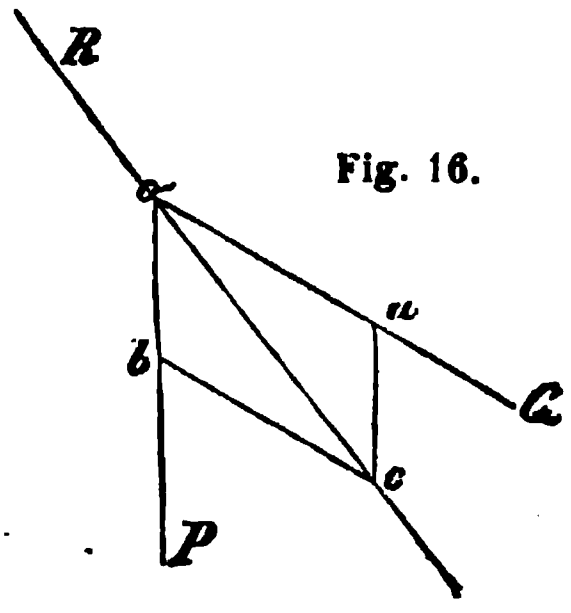


Fig. 16.

Je zwei dieser Kräfte, z. B. P und Q., verhalten sich zu der dritten, wie die Seiten $o\,b$ und $o\,a$ zu der Diagonale $o\,c$ eines Parallelogramms, welches auf den Richtungen der drei Kräfte, von einem willkührlichen Puncte c aus, der in der Richtung der Mittleren genommen ist, gebildet werden kann. Daher Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte.

Dieses Gesetz ist im Wesentlichen nur eine veränderte Ausdrucksweise des Vorhergehenden; es lässt sich, indem man von dem Grundsatze ausgeht, dass die Bewegungsmomente der Kräfte P und Q, bezogen auf einen beliebigen Punct in der Richtung der Kraft R, als Drehaxe, einander gleich sein müssen, durch einfache geometrische Betrachtungen ableiten.

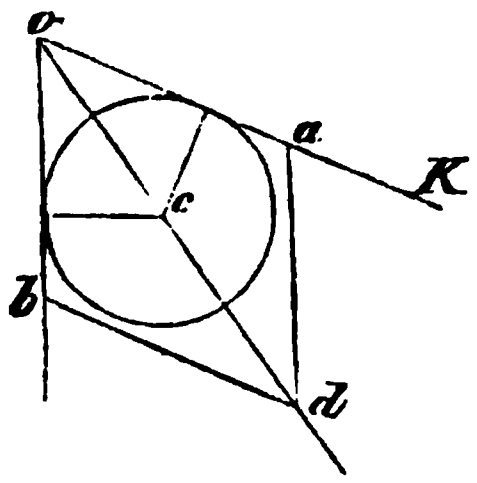
Die Richtigkeit desselben ergibt sich aber auch unmittelbar aus einem andern Grundsatze, dessen Annahme durch alles gerechtfertigt wird, was wir bisher kennen gelernt haben, und ohne dessen Richtigkeit auch das Gesetz der Trägheit falsch sein müsste (105). Er heisst: Der Erfolg der gleichzeitigen Einwirkung mehrerer Kräfte auf denselben Punct (etwa den Schwerpunct eines Körpers) muss immer von der Art sein, als hätten diese Kräfte nacheinander jede eine gleiche Zeit eingewirkt. — Der Punct werde z. B. durch die Kraft P allein in der Zeiteinheit von 0 nach b getrieben, die Kraft Q wird ihn hierauf, verhältnissmässig zu ihrer Grösse, in derselben Zeit von b nach c versetzen. Sollen beide Wirkungen wieder aufgehoben werden, so mnss noch eine dritte Kraft hinzutreten, die ihn in der Zeiteinheit wieder von c nach 0 versetzt.

Als Belege für die allgemeine Geltung des so eben erwähnten Grundsatzes, mögen noch folgende Beispiele dienen. Fallende Körper senken sich bekanntlich in der ersten Sekunde um 15 Fuss; eine Büchsenkugel, mit noch so grosser Geschwindigkeit wagerecht fortgetrieben, wird gleichwohl eine Sekunde nachdem sie den Lauf verlassen hat, um 15 Fuss gesunken sein. — Wir finden, dass man sich auf dem Verdecke eines sanft fortgleitenden Schiffes, nach jeder Richtung, ganz so wie auf einer ruhenden Fläche bewegen kann, und doch nehmen wir dabei an allen Bewegungen des Schiffes Theil. — Die Umwälzung der Erde um ihre Axe, oder um die Sonne, zeigt keinen Einfluss auf unsere Bewegungen an der Erdoberfläche.

135. Das Gesetz des Parallelogramms der Kräfte zeigt, wie man für zwei und so fort auch für mehrere gemeinschaftlich wirkende Kräfte einen mittleren Ausdruck finden, oder mehrere Kräfte zu ei-

ner einzigen zusammensetzen kann. Zusammensetzung der Kräfte.

Fig. 17.



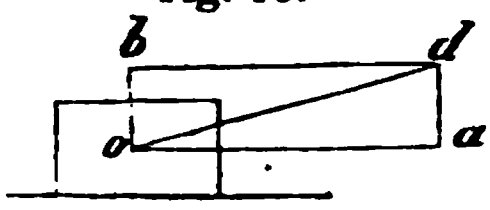
Beispiel: Es ist der Druck zu bestimmen, den zwei gleiche aber nicht gleichlaufende Kräfte $K = o\,a$ und $L = o\,b$ auf die Axe einer Rolle ausüben (Fig. 17). Der gesuchte Druck ist $o\,d$. Die Zeichnung gibt genügende Auskunft über das Verfahren.

136. Umgekehrt lässt sich eine jede Kraft als die resultirende zweier andern betrachten oder in zwei Seitenkräfte zerlegen. Zerlegung der Kräfte. Ist die Richtung dieser Seitenkräfte schon gegeben, so zeigt das Gesetz des Parallelogramms, wie man die Grösse derselben findet.

Als Beispiel: Erklärung der bekannten Thatsache, dass sich Seile in wagerechter Richtung nicht gerade spannen lassen.

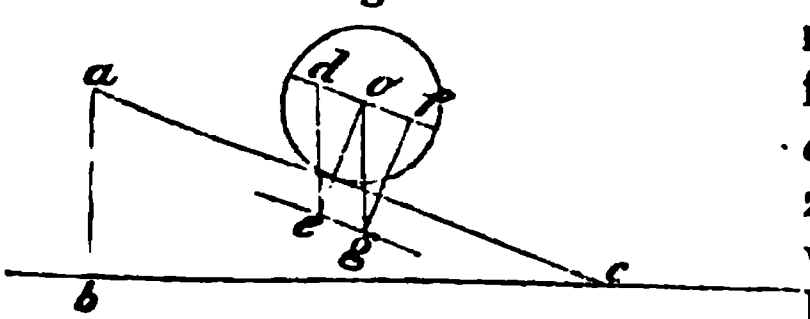
Verwandlung der schief gerichteten Zugkraft $o\,d$ (Fig. 18) in eine wagerechte und in eine senkrechte Kraft. — Ursache des Seitendrucks der Dächer auf die Mauern, worauf sie ruhen. — Der Kniehebel eine sehr wirksame Vorrichtung zum Pressen. Ein besonders bemerkenswerthes Beispiel der Anwendung des vorgetragenen Gesetzes ist die schiefe Ebne.

Fig. 18.



137. Schiefe Ebne wird eine ebne Fläche genannt, die gegen die wagerechte Erdoberfläche geneigt ist. Man findet den Neigungswinkel beider Ebnen, indem man von einem Puncte c ihrer Durchschnittslinie aus eine winkelrechte Linie $c\,a$ längs der schiefen und eine winkelrechte Linie $c\,b$ längs der wagerechten Ebne zieht. Das Loth $a\,b$ von einem willkührlich angenommenen Puncte a der Linie $c\,a$ auf $c\,b$ herabgefällt, heisst Höhe, die Linie $c\,a$ Länge die Linie $c\,b$ Grundlinie (Basis) der schiefen Ebne, das Verhältniss der Höhe zur Länge, $\frac{a\,b}{a\,c}$, nennt man die Steigung einer schiefen Ebne.

Fig. 19.



Leicht bewegliche schwere Körper, wie Kugeln, Walzen u. s. w. streben der schiefen Ebne entlang zu fallen, wiewohl nicht mit

der ganzen der Schwere entsprechenden Beschleunigung. Sie werden gleichsam durch eine im Verhältnisse der Höhe zur Länge der schiefen Ebne verringerten (der sogenannten relativen) Schwere getrieben.

Denn denkt man sich z. B. die Schwere der Kugel 0 (Fig. 19) durch die Linie 0 *g* vorgestellt, so zerfällt dieselbe in einen Druck 0 *e*, der durch die Festigkeit der Bahn aufgehoben wird, und in die relative Schwere 0 *f*, gleichlaufend mit *a c*, welcher keine andere Kraft entgegensteht. Es verhält sich aber 0 *f* : 0 *g* wie die Höhe *a b* zur Länge *a c* der schiefen Ebne. Ein Körper, der, ohne auf Hindernisse zu treffen, einer beliebig geneigten Bahn *a c* herabgefallen ist, hat dieselbe Geschwindigkeit erreicht, als wäre er durch die Höhe *a c* lothrecht gefallen; denn die Wirkung (die erlangte Geschwindigkeit) muss immer der Ursache (hier die Schwere des Körpers, welche in ihrer Richtung den Weg *a c* zurückgelegt hat) gleich seyn. Aus dem Falle auf der schiefen Ebne hat Galileo die Gesetze des freien Falls abgeleitet.

Um einem Körper, z. B. einer Kugel, auf der schiefen Ebne das Gleichgewicht zu halten, ist eine Kraft erforderlich, von der Grösse, dass sie, was übrigens ihre Richtung sey, sich mit dem Gewichte des Körpers zu einem gemeinschaftlichen Drucke, winkelrecht auf die schiefe Ebne zusammensetzt.

Ist z. B. die Richtung dieser Kraft *d o* der Linie *a c* gleichlaufend, so verhält sich die Grösse derselben zum Gewichte des Körpers wie die Höhe zur Länge der schiefen Ebne. Der dieser Kraft gleiche Widerstand des Körpers heisst sein relatives Gewicht.

Steigende Strassen liefern Beispiele von durch schiefe Ebnen bewirkten Widerständen, weil die Last ohne nützlichen Zweck gehoben werden muss. Dieser Widerstand verhält sich wie die Steigung.

Die Laufbrücke und Treppe sind Beispiele der Anwendung der schiefen Ebne als Maschine.

Auch der Keil und die Schraube sind Formen der schiefen Ebne. Schraube ohne Ende. Mikrometerschraube. Schraubenpresse.

Vom Reibungswiderstande.

138. Die Oberflächen der dichtesten und glättesten Körper, unter dem Mikroscope gesehen, erscheinen bald mehr, bald weniger uneben. Liegen zwei Körper auf einander, so greifen diese Unebenheiten in einander ein, ähnlich wie die rauhen Oberflächen zweier Feilen. Dessenungeachtet zeigt sich, wenn ein abgeglätteter Körper über die glatte Oberfläche eines andern gleitet, nur eine geringe, oft kaum bemerkbare wechselseitige Abnutzung (Abstossen der Unebenheiten). Die gleitende Fortbewegung muss daher von einem fortdauernden Heben der Unebenheiten der einen Fläche über diejenigen der andern begleitet seyn. Mit der Bodenfläche eines festen Körpers werden alle Theile seiner Masse gehoben, und dadurch bildet sich ein Widerstand von ganz ähnlicher Art wie beim Ersteigen einer schiefen Ebne. Er wird Reibungs-

Widerstand genannt, oder auch Widerstand der gleitenden Reibung.

139. Für den Reibungswiderstand gelten die folgenden Erfahrungsgesetze, durch welche die Vergleichung desselben mit dem Widerstande während des Ersteigens einer schiefen Ebne vollkommen gerechtfertigt wird:

1) Der Reibungswiderstand ist proportional dem Drucke, welchen der gleitende Körper auf seine Unterlage ausübt;
2) er ist unabhängig von der Grösse der reibenden Flächen;
3) er ist unabhängig von der Geschwindigkeit der Bewegung;
4) zwischen verschiedenen Körperflächen ist er ungleich gross, kann aber bei allen durch Dazwischenbringen feiner, weicher Stoffe, insbesondere von Fetten, indem diese die Unebenheiten ausgleichen, sehr bedeutend vermindert werden.

Die Beschaffenheit (der Grad der Glätte) der über einander gleitenden Flächen bedingt gleichsam den Grad der Steigung auf der hypothetisch angenommenen schiefen Ebne, Die Last, welche gehoben werden soll, bietet einen dieser Steigung und ihrem eignen Gewichte proportionalen Widerstand (relatives Gewicht, 137). Eine demselben gleiche und entgegengesetzte Kraft hält der Reibung das Gleichgewicht. Der gleitende Körper muss sich daher von jetzt an wie eine träge Masse verhalten, z. B. unter dem Einflusse einer neu hinzutretenden Kraft eine beschleunigte Bewegung annehmen (104).

140. Ein Bruch, welcher das Verhältniss der zur Ueberwindung der Reibung erforderlichen Kraft zum Gewicht (Druck) des gleitenden Körpers ausdrückt, wird der Reibungscoefficient genannt.

Man findet z. B., dass um einen Schlitten, der mit Eisen beschlagen ist und über Eisen-Schienen gleitet, auf welche er einen Druck von 1000 Pfund ausübt, in gleichförmiger Bewegung zu erhalten, eine Kraft von 440 Pfund nöthig ist. $\frac{440}{1000} = 0{,}44$ ist daher der Coefficient für die gleitende Reibung von Eisen auf Eisen. Diese Zahl mit der Last multiplicirt, die bewegt werden soll, gibt für jeden ähnlichen Fall die Grösse des Reibungswiderstandes. — Sind die über einander gleitenden Flächen gut abgeglättet, und schmiert man sie vor der Bewegung reichlich mit Fett (Talg, Schweinefett, Knochenöl eignen sich dazu am besten), so vermindert sich der Reibungscoefficient auf 0,08 — 0,05, und zwar bei allen glatten Flächen ohne Unterschied. Zur Fortbewegung obiger 1000 Pfund würde also in diesem Falle nur 50—80 Pfund Kraft erfordert werden.

141. Ein Körper, den man auf einer glatten Fläche fortzuschieben sucht, würde sich um seine vordere Kante drehen, wenn nicht seine Standfähigheit (130) grösser wäre, als sein Reibungswiderstand; wenn nicht bei der Drehung sein Schwerpunct mehr gehoben werden müsste, als es bei dem Fortgleiten der Fall ist.

Räder und Walzen sollten ihre Unterlagen, zu Folge bekannter Eigenschaften des Kreises, nur an einem Puncte, oder eigentlich in einer geraden Linie berühren; wegen der niemals fehlenden Unebenheiten ist dies aber nicht der Fall, sie liegen immer auf einer kleinen Fläche und besitzen daher auch eine gewisse Stand-

fähigkeit. Der hieraus entspringende Widerstand während der Umdrehung wird wälzende Reibung genannt.

Räder, welche um ihre Axe leicht beweglich sind, nehmen, auf glatten Flächen fortgestossen, stets eine wälzende Bewegung an. Es folgt hieraus, dass der Widerstand ihrer wälzenden Reibung geringer ist als der der gleitenden. Vergleichende Versuche haben gelehrt, dass erstere gewöhnlich nur $^1/_{10}$ — $^1/_{20}$ der letzteren ausmacht. Die Grösse derselben ist übrigens direkt dem Drucke und umgekehrt dem Durchmesser der Walze proportional. Verminderung der Bewegungshindernisse durch Verwandlung der gleitenden in die wälzende Reibung.

142. Bei allen Bewegungen, wobei die Oberflächen verschiedener Körper dauernd über einander gleiten oder wälzen, findet man die Reibung als einen Widerstand, dem zur Erhaltung des Gleichgewichtes eine bewegende Kraft entgegengesetzt werden muss. Der Weg, den die sich reibenden Puncte zurücklegen, multiplicirt mit der Grösse des Widerstandes selbst, wird das Reibungsmoment genannt. Zur Erhaltung einer gleichförmigen Bewegung muss ein derselben gleiches Moment der bewegenden Kraft angewendet werden.

Z. B. die wälzende Reibung der Räder unserer Fuhrwerke legt denselben Weg zurück, wie ein Punct der Radperipherie. Eben so gross ist der Weg der Zugkraft. Zur Wältigung des Widerstandes an der Strasse muss also stets ein demselben gleicher Theil der Zugkraft aufgewendet werden.

An den Axen der Räder findet gleitende (drehende) Reibung statt, deren Grösse vom Drucke auf die Axe abhängt; sie legt für jede Umdrehung des Rades einen Weg zurück, welcher dem Umkreise des Zapfens gleich ist. Das zur Wältigung des Widerstandes an der Axe nöthige mechanische Moment der Kraft ist daher um so geringer, je kleiner der Durchmesser des Radzapfens gegen den des Rades ist.

Bei den Fuhrwerken kommt auf ebner und horizontaler Strasse kein anderer Widerstand vor, als der der Reibung. Durch dieselbe Zugkraft kann daher eine so grössere Last bewegt werden, je geringer die Reibungshindernisse sind.

Z. B. ein Pferd, welches täglich 125 Pfund Last 4,8 Meilen (eine Meile = 25,000 R. F.) weit tragen kann, vermag auf dieselbe Entfernung hin sie fortzuziehen:

Auf einer hölzernen Schleife	200 Pfund.
Auf derselben Schleife, wenn sie mit Eisen beschlagen ist . . .	300 „
Auf derselben Schleife und auf guter Schneebahn	1200 „
Auf Rädern mit eisernen Axen, auf Landwegen	900 „
„ „ „ „ „ auf gut unterhaltenen Kunststrassen	2500 „
„ „ „ „ „ auf Eisenbahnen	30000 „

Aus dieser Vergleichung erklärt es sich leicht, warum Pferde, welche auf der gewöhnlichen Landstrasse ihre Zuglast mässigen Anhöhen ohne sehr bedeutende Vermehrung der Anstrengung hinaufzuschaffen vermögen, dies auf einer in gleichem Verhältnisse steigenden Eisenbahn nicht mehr zu thun im Stande sind.

143. Die Reibung ist die Ursache des Feststehens (des Widerstandes gegen Verschiebung) der Körper auf ihren Unterlagen.

Ein Körper, dessen Reibungswiderstand mit einer andern Kraft im Gleichgewichte steht, hat in der Richtung derselben das Vermögen fest zu stehen verloren.

Das Ausgleiten auf glattem Boden ist die Folge zu sehr verringerter Reibungshindernisse. — Auf das Feststehen durch Reibung gründet sich die Wirksamkeit thierischer Kräfte so wie des Dampfes, beim Zuge. Die Zugkraft der Pferde kann daher in manchen Fällen durch das Gewicht eines Reiters auf Augenblicke vermehrt werden; sie nimmt ab beim Ersteigen von Anhöhen. — Die Zugkraft eines Dampfwagens kann nie grösser seyn als der Widerstand der gleitenden Reibung seiner Treibräder; letzterer beträgt $^{44}/_{100}$ vom Drucke, welchen die Treibräder auf die Eisenbahn ausüben. Der Widerstand der wälzenden Reibung des gesammten Wagenzuges beträgt aber nur $^{1}/_{300}$ vom Gewicht desselben. Für je 100 Pfund Druck der Treibräder kann daher ein Gewicht bis zu 44mal 300 Pfund fortgezogen werden. Bei einer grösseren Ladung würden die Räder des Dampfwagens sich umdrehen, ohne die Stelle zu ändern; sie würden gleiten, aber nicht mehr rollen. Ohne Vermehrung der Ladung vergrössert sich die Zuglast beim Erklimmen von Anhöhen. Beträgt z. B. die Steigung $^{1}/_{300}$, so nimmt die Last um $^{1}/_{300}$ vom Gewichte der Ladung zu (134), d. h. sie verdoppelt sich; die gleitende Reibung des Dampfwagens muss dann auch zu der doppelten Grösse berechnet seyn.

Von den Trägheitsmomenten.

144. Die verschiedenen Puncte eines festen, um eine feste Axe wälzenden Körpers vollenden sämmtlich in gleicher Zeit eine gleiche Anzahl Umdrehungen. Man sagt: sie besitzen gleiche Umdrehungs- oder Winkel-Geschwindigkeit.

Gleich grosse träge Massen in ungleichen Abständen von der Drehaxe bedürfen, um gleiche Winkelgeschwindigkeiten anzunehmen, ungleicher bewegender Kräfte (107. 2), welche sich verhalten direkt wie die Abstände.

Man vertausche die einfache Rolle der Fallmaschine mit zwei zusammenhängenden Rollen, deren Halbmesser sind wie 1 : 2. Jeder Punct am Umkreise der grossen Rolle bewegt sich mit der doppelten Geschwindigkeit eines Punctes der kleinen; werden um beide gleich grosse träge Massen vertheilt, so bedarf daher die an der grossen hängende Masse noch einmal so viel bewegende Kraft als die andere, damit beide einerlei Winkelgeschwindigkeit annehmen können. — Will man das Uebergewicht (als bewegende Kraft), welches zur Bewegung der an der grossen Rolle hängenden Masse dienen soll, nicht an dem Umkreise der grossen, sondern an dem der kleinen Rolle wirken lassen, so muss man das Vierfache anwenden, weil der Druck 4 am Hebelsarme 1 nur einen Druck 2 am Hebelsarme 2 erzeugen kann. Um also einer trägen Masse am Hebelsarme 2 dieselbe Umdrehungsgeschwindigkeit beizubringen, als ob sie sich am Hebelsarme 1 befände, muss an diesem letzteren eine vierfache bewegende Kraft in Wirksamkeit treten; oder umgekehrt, wenn einer gegebenen Masse durch ein gegebenes Uebergewicht eine gewisse Umdrehungsgeschwindigkeit ertheilt werden kann, so wird dasselbe Uebergewicht, bei doppelter Entfernung der Masse, nur dem vierten Theile derselben eine gleiche Umdrehungsgeschwindigkeit wie vorher beizubringen vermögen. — Der aus diesem Beispiele gezogene Schluss lässt sich allgemein so ausdrücken:

145. Zwei träge Massen in ungleichen Abständen von der Drehaxe, deren jede für sich betrachtet, unter der Einwirkung einer und derselben und auch immer an demselben Hebelsarme thätigen

Kraft, in gleicher Bewegungszeit dieselbe Umdrehungsgeschwindigkeit annimmt, verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Abstände. Wenn daher jede dieser Massen mit dem Quadrate ihres Abstandes von der Drehaxe multiplicirt wird, so erhält man gleiche Producte.

Jeder solche Zahlenausdruck heisst das Trägheitsmoment der entsprechenden Masse. Der vorstehende Lehrsatz lässt sich daher jetzt kürzer auf folgende Art fassen:

Massen, deren Trägheitsmomente gleich sind, bedürfen für gleiche Umdrehungsgeschwindigkeiten gleicher statischer Momente ihrer bewegenden Kräfte.

Beispiel. Um den beiden auf dem Träger der Fallmaschine stehenden Rollen bei unbelasteten Tellern eine Beschleunigung (109) von 2 Zoll zu ertheilen, musste auf den Teller der kleinen Rolle ein Uebergewicht von 6,12 Grm. gelegt werden. Als man hierauf auf beiden Tellern der kleinen Rolle noch 360 Grm. träger Masse nebst 2 Grm. Uebergewicht, überhaupt also 362 Grm. Masse vertheilte, so blieb die Beschleunigung der Bewegung wie vorher, weil $\frac{2}{362} = \frac{1}{181}$ von der Beschleunigung eines freifallenden Körpers nämlich von 30,18 Fuss, gerade 2 Zoll ausmacht. Angenommen, der Halbmesser der kleinen Rolle ist 3 Zoll, so beträgt das Trägheitsmoment der anhängenden trägen Masse $360 . 3 . 3$; die Bewegung wird nun ganz ungeändert bleiben, wenn man die 360 Grm. wegnimmt, und dafür 90 Grm. träger Masse um die grosse Rolle vertheilt, denn $90 . 6 . 6 = 360 . 3 . 3$.

Eine Masse, welche in einer gewissen Entfernung von der Drehaxe denselben Einfluss äussert, wie eine andere in einer andern Entfernung, nennt man die von dem letzteren an den ersteren Punct reducirte Masse. 90 Grm. am Hebelsarme 6″ ist die reducirte Masse von 360 Grm. am Hebelsarme 3″. — Um eine gegebene Masse an einen beliebigen andern Punct zu reduciren, wird ihr Trägheitsmoment durch das Quadrat der Entfernung dieses andern Punctes von der Axe dividirt.

Die Theile eines um eine feste Axe beweglichen Körpers, besitzen je nach ihren Abständen sehr ungleiche Trägheitsmomente. Durch Reduction derselben an einen beliebigen Punct lässt sich eine Masse bestimmen, welche an diesem Puncte denselben Einfluss äussert, wie alle Theile des Körpers zusammen genommen, jeder an seinem Orte. Es ist vorher erwähnt worden, dass ein Punct am Umkreise der kleinen Rolle durch 6,12 Grm. Uebergewicht eine Beschleunigung erhielt, die $\frac{1}{181}$ von der Schwere, nämlich 2 Zoll betrug. Diese Wirkung ist ganz gleich derjenigen, welche dasselbe Uebergewicht auf eine Masse von $6{,}12 . 181 = 1108$ Grm., die um die kleine Rolle vertheilt sind, ausüben müsste. 1108 Grm. ist daher die an den Umkreis der kleinen Rolle reducirte Masse sämmtlicher Theile des beweglichen Systems.

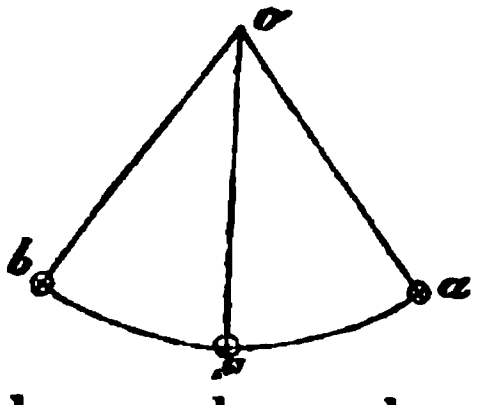
Durch die Kenntniss der Trägheitsmomente ist man im Stande, die ganze Masse eines um eine feste Axe drehbaren Körpers, z. B. einer Maschine, so zu betrachten, als befände sie sich in einem einzigen Puncte concentrirt. Man gewinnt dadurch ein einfaches Mittel, die Kraft zu berechnen, welche nöthig ist, dieser Masse eine gewisse Geschwindigkeit beizubringen, oder auch umgekehrt aus der bereits vorhandenen Umdrehungsgeschwindigkeit die ganze Bewegungsgrösse der rotirenden Masse abzuleiten. Anwendung auf das Schwungrad, als Sammler der Kraft und als Hülfsmittel, den Gang der Maschinen gleichförmig zu machen.

Vom Pendel.

146. Der Name Pendel darf im Allgemeinen einem jeden um einen festen Punct oder um eine Drehaxe schwingenden (oscillirenden) Körper gegeben werden. Ein schwerer Körper von so geringem Umfange, dass er mit einem materiellen Puncte verwechselt werden kann, an einem sehr dünnen, fast gewichtslosen Faden aufgehängt, wird insbesondere ein einfaches Pendel genannt.

147. Die Entfernung des schweren Punctes vom Aufhängepuncte eines einfachen Pendels heisst seine Länge. Die Pendelschwingungen bestehen aus zwei leicht zu unterscheidenden Theilen: einer beschleunigten und einer verzögerten Bewegung. Die erstere ist dem Falle, die letztere dem Steigen auf einer schiefen Ebne von veränderlicher Neigung zu vergleichen. Beim ersten Theile wirkt die Schwere als abnehmend beschleunigende Kraft, beim zweiten Theile als zunehmend verzögernder Widerstand. —

Fig. 20.



Das Pendel kommt an den beiden äussersten Gränzpuncten jeder Schwingung einen Augenblick zur Ruhe, und besitzt, so oft es die ursprüngliche Gleichgewichtslage durchschreitet, seine grösste Geschwindigkeit. — Der zwischen den beiden äussersten Gränzen der Bewegung eingeschlossene Bogen *a b* (Fig. 20) ist die Schwingungsweite (Amplitude); der von der senkrechten Lage des einfachen Pendels und einer seiner äussersten Stellungen eingeschlossene Winkel *s o b* oder *s o a* wird Ausschlagswinkel (Elongationswinkel) genannt.

148. Die Bewegungsgesetze des einfachen Pendels, als eines unter dem Einflusse der Schwere oder einer ähnlichen gleichförmig fortwirkenden Kraft stehenden materiellen Punctes, lassen sich, auf die Grundlage der bereits vorgetragenen Fallgesetze, durch Rechnung ableiten. Diese Rechnung, deren nähere Entwicklung in die Mechanik gehört, hat zu folgender sehr einfachen Formel geführt, die alle Erscheinungen der Pendelbewegungen darstellt. Sie heisst:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

t bedeutet hier die Zeit einer Schwingung;
π das Verhältniss der Kreisperipherie zum Durchmesser;
l die Länge des Pendels;
g die Beschleunigung der Schwere.

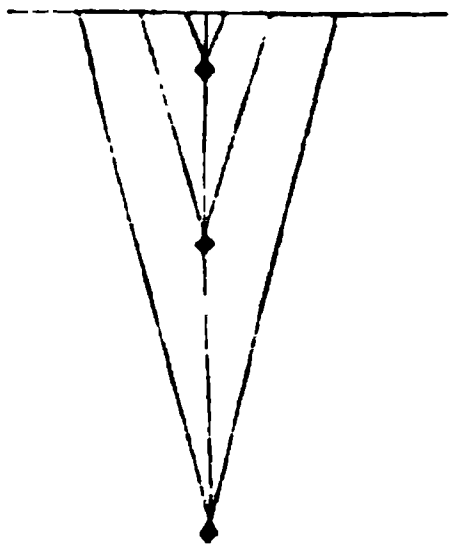
Aus dieser Formel ergeben sich folgende, durch das Experiment leicht zu bewährende Sätze:

a) Die Schwingungen eines und desselben Pendels sind selbst bei ungleichen Weiten gleichdauernd (isochronisch). Dieses Ge-

setz bestätigt sich jedoch nur für sehr kleine Schwingungsweiten.

b) Bei Pendeln von ungleicher Länge verhalten sich die Schwingungszeiten wie die Quadratwurzeln aus den Pendellängen.

Fig. 21.



Werden z. B. drei Pendel, deren Längen sich verhalten wie 1 Fuss zu 4 Fuss zu 9 Fuss (Fig. 21) zu gleicher Zeit in Schwingung versetzt, so findet man, dass das kürzeste allemal 6 Schwingungen macht, während das zweite deren nur 3 und das längste nur 2 vollendet. Also das zweite Pendel braucht zu einer Schwingung noch einmal so viel Zeit, als das erste, das dritte dreimal so viel als das erste.

c) Die Beschaffenheit des Stoffes, woraus das Pendel verfertigt worden, ist ohne allen Einfluss auf die Schwingungsdauer.

Mag man z. B. zu der kleinen Linse des Pendels Gold, Silber, Blei, Marmor, Glas, Holz, Eis oder was immer für einen Stoff gewählt haben, — diese verschiedenen Pendel, wenn sie gleich lang sind, schwingen gleich. Daraus folgt, dass alle diese verschiedenen Körper der Anziehung der Schwere in ganz gleichen, nämlich der Grösse ihrer Masse proportionalem Verhältnisse unterworfen sind (111).

Aus der bekannten Schwingungszeit und Länge eines Pendels lässt sich die Beschleunigung der Schwere mit weit grösserer Schärfe ableiten, als aus den früher angegebenen Verfahrungsarten. Man findet z. B., dass ein Pendel von 9 Par. Fuss Länge in einer Minute 35 Schwingungen vollendet. Die Dauer einer Schwingung ist daher $\frac{60}{35} = \frac{12}{7}$ Sekunde. Also $\frac{12}{7} = 3{,}14\sqrt{\frac{9}{g}}$, woraus sich ergibt $g = \frac{9.7^2.3{,}14^2}{12^2} = 30{,}19$ Fuss.

Dieselbe Beobachtung führt zu der Länge des Sekundenpendels, indem man setzt: $\frac{12}{7} : 1 = \sqrt{9} : \sqrt{x}$ (b). Hiernach ist die gesuchte Länge $x = \frac{9.49}{144} = \frac{49}{16} = 3\frac{1}{16}$ Fuss. Nimmt man nun einen kleinen, schweren Körper, etwa eine Bleikugel, befestigt sie an einem dünnen Faden, misst an diesem von der Mitte der Kugel aus $3\frac{1}{16}$ Fuss ab, und klemmt den Faden an der abgemessenen Stelle ein, so erhält man ein Pendel, das in jeder Sekunde eine Schwingung macht.

149. Jedes Pendel, dessen Masse nicht mehr als ein materieller Punct betrachtet werden kann, heisst ein **zusammengesetztes Pendel**. Unter der Länge eines zusammengesetzten Pendels ver-

steht man diejenige eines einfachen von gleicher Schwingungsdauer.

Ein Punct des zusammengesetzten Pendels, dessen Entfernung von der Drehaxe seiner Länge gleich ist, wird sein Schwingungspunct (centrum oscillationis) genannt. Dieser Punct braucht übrigens gar nicht in der Masse des Pendels zu liegen.

Ein zusammengesetztes Pendel verhält sich ganz so wie ein einfaches von gleicher Länge, und kann daher mit diesem verwechselt werden.

Der Schwingungspunct besitzt, wie aus der Beziehung des zusammengesetzten Pendels auf ein einfaches von gleicher Schwingungsdauer erhellt, die merkwürdige Eigenschaft, dass, wenn die ganze träge Masse des Pendels an denselben reducirt wird, und wenn man sodann die bewegende Kraft des Pendels (nämlich das im Schwerpuncte concentrirte Gewicht) an denselben Punct (den Schwingungspunct) reducirt, beide reducirten Werthe durch dieselbe Zahl ausgedrückt sind; oder mit andern Worten: die an den Schwingungspunct reducirte träge Masse verhält sich wie eine schwere Masse von gleicher Grösse.

Beispiel. An einer sehr dünnen, beinahe gewichtslosen Pendelstange befinden sich zwei Linsen, in der Entfernung 1 und 3 Fuss von der Axe. Jede wiegt 5 Pfund. Das Trägheitsmoment der einen ist daher $5 . 1^2 = 5$; das der andern $5 . 3^2 = 45$; beide zusammen, oder das Trägheitsmoment des ganzen Pendels, $5 + 45 = 50$. Der unbekannte Abstand des Schwingungspunctes sey x, so ist die an diesen Punct reducirte träge Masse $\frac{50}{x^2}$. Der Schwerpunct des Pendels liegt in der Mitte zwischen beiden Linsen, d. h. 2 Fuss von der Axe entfernt. Das in diesem Puncte vereinigte Gewicht ist 10 Pfund, sein statisches Moment gleich $10 . 2 = 20$, folglich das an den Schwingungspunct reducirte Gewicht $\frac{20}{x}$. Nun folgt aus dem Begriffe des Schwingungspunctes, dass $\frac{50}{x^2} = \frac{20}{x}$; daher $x = \frac{50}{20} = 2,5$ Fuss.

Das aus dieser Aufgabe hervorgehende allgemeine Resultat sagt: dass die Länge eines zusammengesetzten Pendels gefunden werden kann, indem man sein Trägheitsmoment durch sein statisches Moment dividirt.

Wie man denselben Werth durch den Versuch finden kann, erhellt aus dem Begriffe des Schwingungspunctes. Wenn man im Schwingungspuncte eines Pendels winkelrecht durch seine Längenrichtung eine Messerschneide anbringt, es herumdreht und in diesem Puncte aufhängt, so wird der frühere Aufhängepunct zum Schwingungspuncte; d. h. das Pendel zeigt in beiden Lagen gleiche Schwingungsdauer; jeder dieser Puncte besitzt beziehungsweise zum andern als Drehaxe die merkwürdige Eigenschaft, dass die an denselben reducirte Pendelmasse sich wie eine Gewichtsmasse von gleicher Grösse verhält. Ein solches Pendel mit zwei Axen wird Umdrehungspendel (Reversionspendel) genannt.

Es ist einleuchtend, dass der Abstand beider Schneiden von einander die Pendellänge bezeichnet. Dieses Verfahren bietet also ein äusserst scharfes Mittel, die Länge eines zusammengesetzten Pendels zu erforschen.

Die Länge eines Pendels ist übrigens, wegen der Ausdehnung der Körper durch die Wärme, veränderlich mit der Temperatur. Ein Sekundenpendel z. B., das bei 15° seine richtige Länge hat, wird bei niedrigerer Temperatur kürzere Zeit, bei höherer Temperatur längere Zeit als eine Sekunde brauchen, um eine Schwingung zu vollenden.

Es ist gelungen, diesen Fehler durch dieselbe Ursache, welche ihn veranlasst, wieder auszugleichen (zu compensiren), daher Compensationspendel, — zuerst von Graham ausgeführt. *a b* sey ein dünnes Glasrohr, welches mit einem weiteren, mit Quecksilber gefüllten Glasgefässe *s* verbunden ist. Letzteres stellt die Linse dieser pendelartigen, bei *a* aufgehängten Vorrichtung vor; *s* bezeichnet den Schwingungspunct. Derselbe senkt sich, wenn bei erhöhter Temperatur das Glasrohr sich z. B. bis *d* verlängert. Allein das enthaltene Quecksilber dehnt sich vom Boden des Gefässes aus in entgegengesetztem Sinne aus; steigt es nun durch seine Volumsvergrösserung über seine anfängliche Fläche bei *n* bis zu der Höhe *e* um eben so viel als es durch die Ausdehnung des Glases gesenkt worden, so bleibt der Schwingungspunct ungeändert. Diese Bedingung wird eintreten, wenn die Verlängerung der kleinen Quecksilbersäule das Doppelte von der des Glases beträgt.

Fig. 22.

Dieselbe Idee liegt andern Pendelcompensationen, z. B. dem allgemein bekannten Rostpendel zu Grunde.

150. Die Schwingungen eines Pendels von unveränderlicher Länge sind nur an demselben Orte von unveränderlich gleicher Dauer. Man findet, dass es auf dem Gipfel eines Berges von beträchtlicher Höhe langsamer schwingt, als am Fusse desselben, und aus dem Gesetze, wonach diese Abnahme eintritt, muss man schliessen, dass die Anziehungskraft der Schwere sich mit der Entfernung vom Mittelpuncte der Erde vermindert, und zwar umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung.

Z. B. an der Küste des stillen Meeres machte nach Bouguer und Condamine ihr Pendel während 24 Stunden 98,770 Schwingungen; zu Quito, 9036 Fuss höher, 98,740 Schwingungen, und auf dem Pinchincha, in der Höhe von 14,988 Fuss, nur 98,720 Schwingungen. Diese Höhen, zu dem Erdhalbmesser an der Meeresküste = 19,630,000 Fuss addirt, und mit der Beschleunigung der Schwere an diesen drei Orten (148) verglichen, führen zu dem erwähnten Gesetze.

Auf den Mond in einer mittleren Entfernung von 60 Erdhalbmessern muss demnach die Anziehung der Erde einen 60mal geringeren Einfluss äussern, als auf einen Erdkörper. Ein Stein in der Entfernung des Mondes würde z. B. gegen die Erde hin während einer Minute nicht tiefer fallen als an der Erdoberfläche in einer Sekunde.

151. Durch Pendelbeobachtungen ist ferner der Beweis geführt worden, dass die Schwere an der Erdoberfläche selbst veränderlich ist, dass sie nämlich vom Aequator nach den Polen hin zunimmt.

Z. B. Ein Pendel, das in Paris täglich 98,891 Schwingungen machte, vollendete deren zu Ponoi in Lappland in derselben Zeit 98,964. Der Grund liegt theils in der Abplattung der Erde, theils in der durch die Umwälzung um ihre Axe bewirkten Centrifugalkraft.

Es ist nunmehr einleuchtend, dass das Sekundenpendel an verschiedenen Orten der Erde nicht einerlei Länge haben kann. Zuweilen ist es nöthig diese Länge genau zu kennen. Sie lässt sich dann mittelst der Formel $l = 439{,}2066 + 2{,}3862 \sin \varphi^2$ berechnen. sin φ bedeutet den Sinus der Breite (des Breitegrades) des Ortes, l wird in Par. Lin. gefunden.

152. In der Nähe grosser und steiler Felsmassen wird das Pendel gegen dieselben hin aus der senkrechten Lage abgelenkt. Hierdurch ist bewiesen, dass die Erde nicht nur als Ganzes, son-

dern dass auch jeder einzelne Theil derselben eine Anziehung auf die Pendelmasse ausübt. Das, was wir anziehende Kraft der Erde nennen, ist also nur die resultirende der Anziehungen, welche sämmtliche Erdtheile gegen einen beliebig angenommenen materiellen Punct äussern.

Wenn aber jeder Theil der Erde mit einem Anziehungsvermögen gegen alle anderen Theile derselben begabt ist, so folgt weiter, dass das, was wir als Wirkungen der Schwere betrachten, die Folgen einer wechselseitigen Anziehung sind. Ein fallender Stein z. B. wird nicht nur von der Erde angezogen, sondern zieht seinerseits auch die Erde, und zwar mit gleicher Stärke, an. Seine Schwere, sein Bestreben zu fallen, ist das Product beider Wirksamkeiten; sie steht im geraden Verhältnisse zur Grösse der Erdmasse, multiplicirt mit der Masse des Steines, und im verkehrten Verhältnisse zum Quadrate der Entfernung der Schwerpuncte beider Körper.

Die Wirkung eines jeden Erdkörpers auf die übrige Erdmasse ist mithin gerade so gross wie die der letzteren auf die ersteren. Wenn gleichwohl ein Stein auf die Erde fällt, und nicht das Umgekehrte stattfindet, so erklärt sich dies dadurch, dass die Bewegung der Erde gegen den Stein hin, in Betracht ihrer verhältnissmässig ganz ausserordentlich grossen Masse, nur verschwindend gering seyn kann.

Beide Wirkungen sind jedoch in der That und gleichzeitig vorhanden, dergestalt dass sie sich, in entgegengesetztem Sinne eintretend, wechselseitig aufheben, oder mit andern Worten: das allgemeine Gleichgswicht ungestört lassen.

Man hat geschlossen, dass das Vermögen, sich wechselseitig anzuziehen, nicht nur eine Eigenschaft der Erdtheile, sondern überhaupt aller Materie ist, und dass folglich alle Weltkörper einander anziehen (Gravität). Diese Ansicht, welche zuerst Newton aufgestellt hat, ist seitdem durch die Beobachtungen der Astronomen vollkommen bestätigt worden. Sie bildet die Grundlage zur Erklärung der Bewegungen der Himmelskörper. — Die Mechanik lehrt, dass die anziehende Kraft einer aus anziehenden Theilen zusammengesetzten kugelförmigen Masse auf einen Punct ausserhalb der Kugel gerade so gross ist, als wäre die ganze Masse im Mittelpuncte der Kugel vereinigt. Um hiernach z. B. die Stärke der Anziehung zwischen Erde und Mond vergleichungsweise zur Schwere an der Erdoberfläche zu bestimmen, hat man das Product der Massen beider Weltkörper durch das Quadrat der Entfernung ihrer Mittelpuncte zu dividiren.

Da die Stärke, womit das Pendel von verschiedenen Körpermassen angezogen wird, unmittelbar der Grösse dieser Massen, und umgekehrt den Quadraten der Entfernungen der Mittelpuncte ihrer Wirksamkeit vom Pendel, proportional ist, so lässt sich, wenn von irgend einer Masse (z. B. von einem Berge) Grösse, Lage des Mittelpunctes der Wirksamkeit und Stärke der Einwirkung auf das Pendel genau bekannt sind, die Grösse der Erdmasse durch Rechnung finden. Gestützt auf diese Betrachtung hat man wiederholt Versuche angestellt, um die Stärke der Anziehung, welche Massen von bekannter Grösse auf das Pendel ausüben, ausfindig zu machen, und man hat daraus berechnet, dass die mitt-

lere Dichtigkeit der Erdmasse zwischen 4,5 — 5mal so gross ist, als die eines Wasserkörpers von gleichem Umfange. (Zu vergleichen Gehler's phys. Wört. Bd. 3. S. 950.)

153. Die gegenseitigen Einwirkungen der Körper, als Folgen der in ihnen thätigen Kräfte, mögen es nun Anziehungen oder Abstossungen seyn, sind stets von der Beschaffenheit, dass sie gleichen und entgegengesetzten Bewegungseffecten entsprechen, so dass zwei Körper, als zusammengehöriges System betrachtet, in welcher Weise sie auch auf einander einwirken mögen, dadurch ihre Beziehungen nach Aussen nicht ändern können. D. h. der gemeinschaftliche Schwerpunct oder Wirkungsmittelpunct beider Massen kann durch ihre wechselseitigen Anziehungen oder Abstossungen nicht verrückt, noch, insofern er sich bereits in Bewegung befinden sollte, das Gesetz oder die Richtung derselben verändert werden.

Die Kraft, womit das entzündete Pulver eine Kugel forttreibt, wirkt ganz mit derselben Stärke auch im entgegengesetzten Sinne; daher das Stossen der Büchse, das Zurücktreten der Kanone im Augenblicke der Explosion.

Kein Mensch vermag durch die inneren Kräfte seines Körpers allein und ohne Beihülfe äusserer Kräfte oder doch eines äusseren Stützpunctes die Lage seines Schwerpunctes zu verrücken. Z. B. der fallende menschliche Körper, einmal von jeder Stütze entfernt, verhält sich wie jede andere schwere Masse, und vermag durch die blosse Anstrengung seiner Muskeln seine Bewegung weder zu beschleunigen, noch zu verzögern, noch die Richtung derselben zu ändern. Jede Aeusserung unserer Muskelkraft wirkt mit gleicher Stärke nach zwei einander entgegengesetzten Richtungen. Durch die Muskelkraft der Hände heben wir z. B. unsern Körper, indem wir die Handhabe mit derselben Kraft (nämlich dem Gewichte des Körpers) abwärts ziehen. Ein Mensch, der auf der Schale einer Wage steht, kann daher, unabhängig von jedem äusseren festen Puncte, durch keine Anstrengung seiner Muskeln das einmal eingetretene Gleichgewicht stören.

Die im vorigen Paragraphen erwähnte gegenseitige Anziehung der Erdtheile ist also nur ein besonderer Fall eines allgemeinen Gesetzes. Wir sehen jetzt, dass der Schwerpunct der Gesammtmasse der Erde nicht nur nicht durch den Fall, sondern auch nicht durch das Aufsteigen einzelner Erdkörper geändert werden kann, ja dass keinerlei Art irdischer Bewegungen, selbst nicht die heftigsten Erdbeben und vulkanischen Ausbrüche, den Schwerpunct der Erde nur im mindesten aus seiner Bahn zu bringen vermögen.

Auch die verschiedenen Weltkörper unseres Sonnensystems bilden ein durch ihre wechselseitigen Anziehungen zusammengehöriges Ganzes. Die Bewegung nur eines einzigen Gliedes dieses Systems bedingt die Bewegung aller übrigen, dergestalt dass sie sich um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunct stets im Gleichgewichte erhalten. Der Standort der Sonne im Weltraume würde nur dann ein unveränderlicher seyn können, wenn ihr Mittelpunct zugleich der Schwerpunct des ganzen Sonnensystems wäre.

Von der Wage.

154. Die Wage besteht im Wesentlichen aus drei Theilen: einer festen Unterlage, als Stütze für die Axe des Wagebalkens, dem Wagebalken selbst und den Wageschalen.

Der Wagebalken ist ein doppelarmiger Hebel, die Anhänge-

puncte der Schalen sind die Angriffspuncte von Kraft und Last. Je nachdem die Entfernungen dieser Puncte vom Stützpuncte gleich oder ungleich sind, entsteht die gleicharmige oder ungleicharmige Wage.

Die wesentlichen Bedingungen guter Wagen gelten mit gleichem Rechte für jede Art derselben. Wir werden uns jedoch bei den folgenden Erörterungen vorzugsweise auf die gleicharmige oder Gleichwage beziehen.

Wagebalken und Schalen bilden ein zusammengesetztes Pendel, denn in Bewegung gesetzt oscilliren sie um den Stützpunct. Es folgt hieraus von selbst, dass der Schwerpunct der ruhenden Wage unter dem Stützpuncte liegt.

Jede der Schalen für sich genommen, bildet wieder ein Pendel. Während der Schwingungen desselben wird sein Schwerpunct abwechselnd dem Stützpuncte der Wage genähert und wieder davon entfernt, also das Verhältniss der Hebelsarme von Kraft und Last geändert. Man sieht hieraus, dass eine Wage nur während des Ruhezustandes der Schalen die Gleicharmigkeit erhalten kann.

Die Wage soll als Hülfsmittel dienen, die Gewichte der Körper zu messen. Die Erreichung dieses Zweckes knüpft sich an zwei Bedingungen, welche jede gute Wage erfüllen muss: Richtigkeit und Empfindlichkeit.

Eine Wage ist richtig, wenn der Wagebalken ohne anhängende Schalen, mit den Schalen und nach Verwechslung derselben stets seine horizontale Stellung behauptet, oder doch in dieselbe zurückkehrt; wenn ferner ein auf die eine oder andere Schale gebrachtes Uebergewicht, bei unbelasteter wie belasteter Wage, stets denselben Ausschlag bewirkt.

Die Wage ist empfindlich, wenn die kleinsten, bei den Abwägungen gebrauchten Gewichtstheile, als Uebergewicht einen Ausschlag von sehr bemerkbarer Grösse bewirken.

Um die wagerechte Stellung des Balkens, so wie die Grösse des Ausschlagewinkels sicher zu erkennen, befindet sich an ersterem ein Zeicher, der sich vor einem feststehenden Gradebogen bewegt. Als Zeicher dient entweder der verlängerte Hebelsarm, oder ein besonderes, aus der Mitte des Wagebalkens auf- oder abwärts gerichtetes Stück (die Zunge). Der Ausschlagewinkel ist um so deutlicher zu erkennen, je länger der Zeicher ist.

Der Grad der Empfindlichkeit einer Wage beruht theils auf den Grundsätzen wonach, theils aber auch auf der Genauigkeit und Sorgfalt, womit sie ausgeführt ist. Nur die ersteren können den Gegenstand einer wissenschaftlichen Erörterung bilden.

Man denke sich eine Wage, so gebaut, dass ihr Schwerpunct in den Stützpunct fällt. Diese Wage wird keine bestimmte Gleichgewichtslage annehmen, sie kann nicht als Pendel schwingen. Fügt man aber ein kleines Gewicht unterhalb des Stützpunctes zu, so kann sie von diesem Augenblicke an nur in einer einzigen

Lage zur Ruhe kommen, in der nämlich, worin der Schwerpunct des zugefügten Gewichtes lothrecht unter dem Stützpuncte liegt.

Der grösste Theil der Masse einer jeden Wage ist um den Stützpunct herum gleichförmig vertheilt, so dass immer nur ein verhältnissmässig sehr kleiner Theil ihres Gewichtes das Bedingende ist für die Herstellung der Ruhelage. Je kleiner dieser Theil, das sogenannte Schwingungsgewicht, je geringer der Abstand seines Schwerpunctes vom Stützpuncte, im Vergleiche zu der Entfernung der Aufhängepuncte der Schalen von demselben Stützpuncte, um so empfindlicher ist die Wage.

Eine empfindliche Wage muss den höchsten Grad der Beweglichkeit besitzen, und soll also gar nicht oder doch nur unmerklich auf ihrer Unterlage reiben. Sie darf daher nicht auf Zapfen, wie z. B. die Rolle, sondern muss auf einer scharfkantigen Messerschneide, d. h. auf der Kante eines dreieckigen Prismas, von hartem Stahle und von 40—60° Neigung der Seitenflächen ruhen. Auch die Unterlage muss aus hartem Stahle, oder besser noch aus Achat verfertigt sein, und muss der Messerschneide, so weit sich beide berühren, eine ebne, wagerechte Fläche darbieten, damit die etwa noch vorhandene Reibung nur als wälzende Reibung zum Vorschein treten kann.

Vorrichtungen zum Schonen der Schneide und ihrer Unterlage, so wie zum Feststellen der Wage. Bei den feinsten chemischen Wagen ist eine scharfkantige Schneide unerlässlich. Bei solchen Wagen jedoch, die bestimmt sind, Lasten von einem oder mehreren Pfunden zu tragen, pflegt man die scharfe Kante etwas abzustumpfen oder abzurunden, um dadurch das Einschneiden in die Unterlage zu vermeiden.

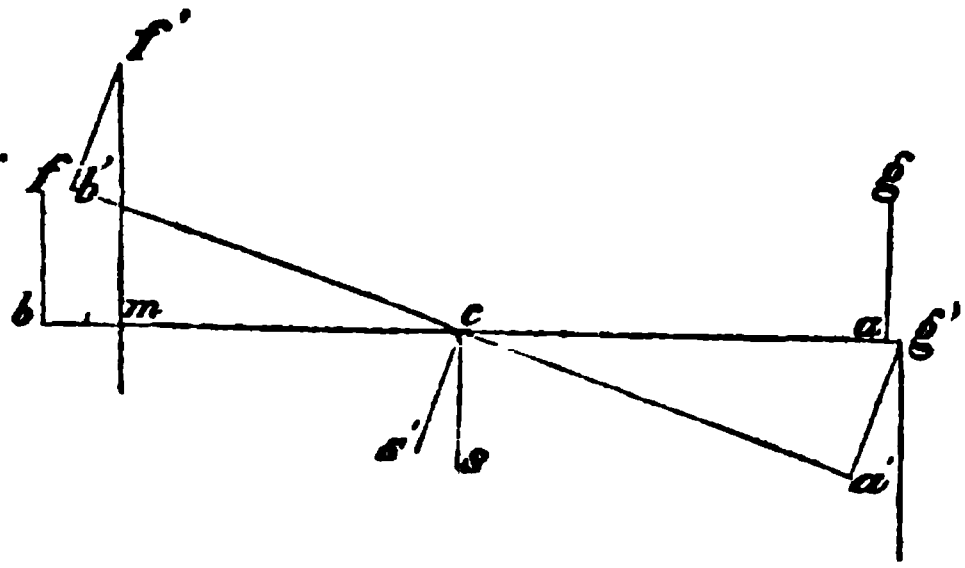
Das Aufhängesystem der Schalen muss auf dieselbe Weise und mit gleicher Sorgfalt, wie das des Wagebalkens ausgeführt seyn, damit die Schalen, jede um ihre Axe, eine gleich vollkommne Beweglichkeit besitzen, und daher mit Sicherheit stets in die Lage zurücktreten, in welcher ihr Schwerpunct lothrecht unter dem Aufhängepuncte liegt.

Die drei Schneiden müssen genau gleich gerichtet seyn und in einer und derselben ebnen Fläche liegen. Die beiden äusseren müssen von der mittelsten genau gleich weit entfernt stehen. Von diesen Bedingungen hängt die Richtigkeit, zum Theil aber auch die Empfindlichkeit ab.

Laufen die drei Axen nicht parallel, oder sind die äusseren von der mittelsten ungleich weit entfernt, so sind die Hebelsarme ungleich. Die Wage kann folglich nicht als Gleichwage benutzt werden.

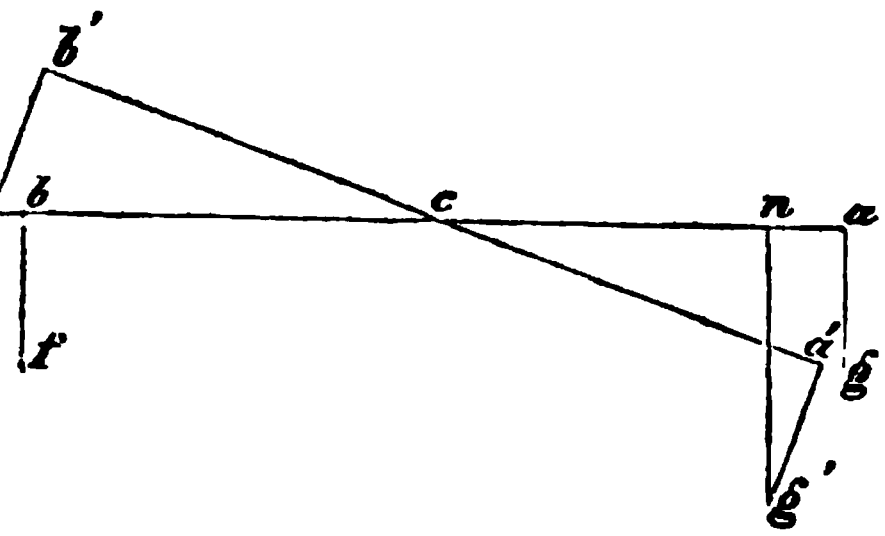
Ueber die Mittel, die Schneiden richtig zu stellen, vergleiche man die zur Platte II. (Wage des Chemikers) gehörige Beschreibung.

Fig. 22.



Stehen die Axen der Schalen *g* und *f* (Fig. 22) höher als der Stützpunct *c* der Wage, so vergrössert sich bei erfolgendem Ausschlage der Hebelsarm der sinkenden Schale, während der der steigenden kleiner wird. Z. B. für einen Ausschlagswinkel *a c a'* wird ersterer um *a g'* vergrössert, letzterer um *b m* verkleinert. Eine solche Wage ist also nur in der wagerechten Stellung gleicharmig; sie wird ungleicharmig, sobald man sie schwingen lässt. Wagen, die mit diesem Fehler, welcher sie gänzlich unbrauchbar macht, behaftet sind, erkennt man daran, dass bei zunehmender Belastung, jedoch gleichbleibendem Uebergewichte, der Ausschlag zunimmt, und dass bei fortwährender Vergrösserung der Belastung die Wage endlich umfällt. Der Grund ist, weil durch dieses Verfahren der gemeinschaftliche Schwerpunct der beladenen Wage allmählig über den Schwerpunct *s* des Schwingungsgewichtes gehoben und endlich über den Stützpunct selbst gebracht wird.

Fig. 23.



Stehen die Axen der Schalen *g* und *f* niedriger als der Stützpunct, so verkürzt sich der Hebelsarm der sinkenden Schale, während der der steigenden grösser wird. Z. B. wieder für den Ausschlagswinkel *a c a'* wird ersterer um *a n* verkürzt, letzterer um *b f'* vergrössert. Eine solche Wage ist also ebenfalls unrichtig. Man erkennt diesen Fehler aus der Abnahme der Empfindlichkeit bei zunehmender Belastung.

Befinden sich die Axen der Schalen mit der Hauptaxe genau in derselben Ebne, so liegt auch der gemeinschaftliche Schwerpunct

des auf beide Anhängepuncte wirkenden Druckes in dieser Ebne. also für die Bedingung gleicher Belastung in dem Stützpuncte selbst. Das Schwingungsgewicht bleibt daher, so lange sich der Wagebalken nicht biegt, ungeändert, die Empfindlichkeit bleibt gleich. Auch ist leicht einzusehen, dass nur in diesem einzigen Falle die Wage in jeder Lage sich gleicharmig erhält. Bei einer Wage, welche nach diesen Grundsätzen richtig gebaut ist, bewirkt nicht nur ein gegebenes Uebergewicht innerhalb der Gränzen erlaubter Belastung stets einerlei Ausschlag, sondern es ist auch die Grösse dieses Winkels der Grösse des Uebergewichtes fast genau proportional. Die Grösse des Ausschlages gestattet daher bei einiger Bekanntschaft mit einer Wage einen ziemlich sicheren Schluss auf die Grösse des Uebergewichtes.

Man weiss z. B., dass bei einer gewissen Wage 1 Milligrm. Uebergewicht einen Ausschlag von 2° bewirkt. Bei einer Abwägung ergibt sich ein Ausschlag von 10°, so folgt, dass auf der Seite der Senkung noch 5 Milligrm. zu viel liegt. — Streng genommen muss, wenn der Ausschlag in arithmetischem Verhältnisse zunehmen soll, das Uebergewicht zunehmen, wie die Tangente dieses Bogens. Bei Winkeln unter 20° weicht jedoch das Verhältniss der Tangenten von dem der zugehörigen Bögen um keine hier in Betracht kommende Grösse ab.

Das Zeichen des hergestellten Gleichgewichtes ist: dass der Zeicher der Wage auf den 0 Punct des Gradebogens einspielt. Gewöhnlich geschieht dies erst nach einer Reihe von Schwingungen. Das Schwingungsgewicht, als die einzige Triebkraft für diese Hin- und Herbewegungen, hat dabei nicht nur seine eigne Masse, sondern auch die ganze träge Masse der Wage sammt Belastung in Bewegung zu setzen. Empfindliche Wagen schwingen daher immer langsam; um so langsamer, je massiver sie gebaut sind und je mehr Masse sich an den äussersten Puncten befindet (145), d. h. je länger die Arme der Wage, je schwerer die Schalen, je grösser die Belastung. — Langsamkeit der Schwingungen ist aber ein grosser Uebelstand bei häufigem Gebrauche der Wage. Schalen und Wagebalken dürfen daher nicht schwerer seyn, als ihre Festigkeit durchaus erfordert. Die durchbrochnen Wagebalken verbinden die grösste Festigkeit mit der geringsten Masse. Ferner sollen die Hebelsarme so kurz seyn, als es mit dem bequemen Eintragen der Gewichte und abzuwägenden Gegenstände in die Schalen irgend verträglich ist, weil diese kleineren Dimensionen nicht nur im Allgemeinen einen leichteren Bau der Wage gestatten, sondern weil namentlich auch die Grösse des Abstandes der äussersten Puncte von der Axe und folglich das Trägheitsmoment der Wage bedeutend dadurch gemindert wird.

Durch Berücksichtigung dieser Dinge kann die Wage bei einem hohen Grade der Empfindlichkeit dennoch sich wie ein Pendel von mässiger Länge verhalten. — Bei den feinsten Wagen, namentlich zum Gebrauche der Chemiker, pflegt man entweder oberhalb oder unterhalb des Stützpunctes eine lothrecht stehende Schraube anzubringen, an welcher ein kleines Gewicht auf und nieder

bewegt werden kann. Durch diese Vorkehrung lässt sich der Schwerpunct heben und senken, und dadurch nach Befinden die Wage empfindlicher machen, oder auch ihre Empfindlichkeit mässigen *). — Auf empfindlichen Wagen kann man, selbst wenn sie unrichtig sind, das wahre Gewicht eines Körpers ausmitteln, indem man ihn zuerst auf die gewöhnliche Weise abwiegt, dann aus seiner Schale nimmt und sehr genaue Gewichte an seine Stelle legt, so lange bis wieder Gleichgewicht eingetreten ist.

Die ungleicharmigen Wagen sind meistens dazu bestimmt, um mit kleinen Gewichten grosse Lasten richtig abzuwägen. Bei der Decimalwage z. B. ist der Hebelsarm der Gewichte 10mal so lang als der der Ladung. Letztere wiegt daher 10mal so schwer als die Gewichte, wodurch man sie ins Gleichgewicht gesetzt hat. Die allgemein bekannte Strassburger Brückenwage ist eine Decimalwage.

Von dem Princip des ungleicharmigen Hebels hat man auch bei den feinen chemischen Wagen eine sehr nützliche Anwendung gemacht. Die Entfernung

---

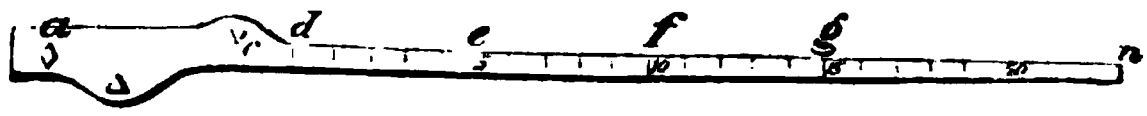
*) Die Platte II. enthält die vordere Ansicht einer feinen chemischen Wage in halber natürlicher Grösse, nebst allem zum Zwecke der Ausführung wünschenswerthen Detail. — Fig. 2, 3 und 4 zeigt eine Vorrichtung die Wage in Ruhe zu stellen, welche zuerst bei den Wagen von Oertling angewendet worden ist. Das dreikantige Stahlprisma *b b*, die Axe der Wage, ruht während des Gebrauchs auf zwei Achatplatten *a a*, Stücken derselben wagerechten Ebne und mit der Säule, die das ganze Werkzeug trägt, unverrückbar fest verbunden. Diese feste Unterlage ist von einem auf und nieder beweglichen Rahmen *d d* umgeben, der mit einer Stange im Innern der Säule zusammenhängt, mittelst eines excentrischen Rades im Fusse der Säule gehoben werden kann, und durch eine schraubenförmig gewundene Feder am obern Ende der Stange herabgedrückt wird. In dem Rahmen befinden sich vertical unter den beiden Enden der Stahlschneide zwei Einschnitte, geeignet um, wenn man den Rahmen hebt, die Schneide aufzunehmen und von ihrer Achatunterlage abzuheben; zugleich greifen die Arme *c c* eines Queerstückes *g g* unter entsprechende Stellen des Wagebalkens, wodurch dieser festgestellt wird.

Fig. 5 und 6, in natürlicher Grösse gezeichnet, zeigt ein sehr zweckmässiges Aufhängesystem der Schalen, welches Hoss bei seinen Wagen in Anwendung bringt. Die stählernen Haken, woran die Schalen aufgehängt werden, haben (Fig. 6) eine beträchtliche Breite, damit das Gewicht der Schale auf mehreren Puncten der Schneide ruht, und letztere also weniger abgenutzt wird. Um nun aber die Haken zu verhindern, an den Seiten des Wagebalkens anzustreifen, wodurch die freie Beweglichkeit leiden müsste, besteht die Schneide aus zwei Stücken, die an den zugekehrten Seiten von unten so ausgeschnitten sind, dass sie nach oben spitz zulaufen. Zwischen diesen Spitzen ist gerade so viel Spielraum gelassen, um einer dünnen Messingscheibe, welche in der Mitte des Hakens angebracht ist, freie Bewegung zu gestatten. Durch diese Anordnung ist eine Verrückung des Hakens unmöglich gemacht. Um die Länge der Hebelsarme bequem justiren zu können, sind die stählernen Endstücke *l m*, an welchen sich die Schneiden befinden, beweglich gemacht. Zur Verrückung dient die Schraube *n*, deren Gewinde in den Wagebalken eingeschnitten ist, und die zugleich in eine Vertiefung des beweglichen Endstückes eingreift. Auf derselben Stahlplatte *l m* sitzt ein Stift *s*, der mit etwas Spielraum in eine entsprechende Vertiefung des Wagebalkens eingeht. Mittelst der Schraube *n'* und einer ähnlichen auf der hintern Seite des Wagebalkens lässt sich der Stift um etwas Weniges verrücken, wodurch es möglich wird, den etwa fehlenden Parallelismus der drei Schneiden leicht und mit Sicherheit herzustellen.

vom Stützpuncte bis zum Aufhängepuncte der Schale auf jeder Seite des Wagebalkens ist durch Feilstriche in 10 gleiche Abtheilungen gebracht. Legt man nun z. B. auf den 6ten Theilstrich vom Stützpuncte aus ein Gewicht, so wirkt dieses gerade so wie $^6/_{10}$ desselben Gewichtes in der Wagschale. Man ist also durch diese Anordnung in den Stand gesetzt, mit den kleinsten vorhandenen Gewichten bis zur Genauigkeit von $^1/_{10}$ abzuwiegen.

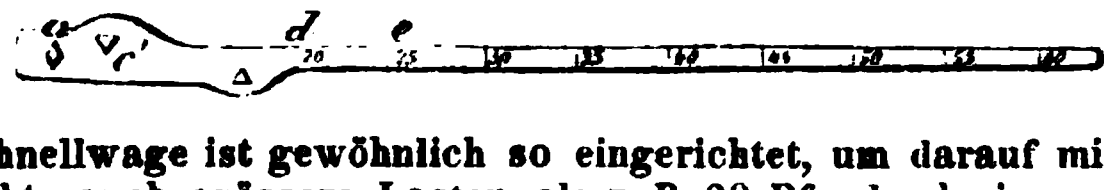
Eine ungleicharmige Wage, deren Gebrauch sehr verbreitet ist, ist die Schnellwage, so genannt, weil das Wiegen durch blosses Verrücken eines Gewichtes, des sogenannten Laufgewichtes, auf dem langen Hebelsarme geschieht. Die Einrichtung dieser Wage ist übrigens leicht zu verstehen.

Fig. 25.



Es sey (Fig. 25) c der Stützpunct der Schnellwage, die Schale ruht auf der Schneide a, das Laufgewicht ist von d nach n verrückbar. Gesetzt, an die Stelle d gehängt, hält es der leeren Schale das Gleichgewicht, so muss es, um einem dem seinigen gleichen Gewichte in der Schale das Gleichgewicht halten zu können, von d nach e, so dass $d\,e = a\,c$, vorgerückt werden. Denn das statische Moment des Laufgewichtes $P.\,c\,e$, welches hierdurch erhalten wird, ist nichts anderes als das frühere Moment $P.\,c\,d$, das dem Momente der leeren Schale entsprach, vermehrt um das Moment ($P.\,a\,c = P.\,d\,e$) der Ladung. Eben so leicht ist einzusehen, dass das Laufgewicht in der Stellung f der Last $2\,P$ in der Schale, in der Stellung g der Last $3\,P$ das Gleichgewicht hält u. s. w. Ist nun das Laufgewicht z. B. 5 Pfund schwer, so kann man die Abtheilungen $d\,e$, $e\,f$, $f\,g$ u. s. f. je in 5 Unterabtheilungen bringen, von welchen jede folgende ein Pfund mehr bezeichnet.

Fig. 26.



Die Schnellwage ist gewöhnlich so eingerichtet, um darauf mit demselben Laufgewichte auch grössere Lasten, als z. B. 20 Pfund, abwiegen zu können. Man dreht sie zu diesem Zwecke herum und macht die Schneide c' zum Stützpuncte, während die Schale, wie vorher, auf der Schneide a ruht. Der lange Arm hat jetzt das Uebergewicht, aber ein in die Wagschale zugegebnes Gewicht, am besten das Laufgewicht selbst, stellt das Gleichgewicht wieder her. Hängt man hierauf das Laufgewicht an den Punct d, so gewählt, dass z. B. $d\,c' = 3.\,a\,c'$, so bedarf man zur Herstellung des Gleichgewichtes, in der Schale eine Ladung $= 4\,P$, oder in unserem angenommenen Beispiele, da $P = 5$ Pfund, einer Ladung von 20 Pfund. Der Punct e ($d\,e = a\,c'$) entspricht dann 25 Pfund u. s. w.

Den Angaben der Schnellwage wird häufig kein grosses Zutrauen geschenkt, weil man keine einfache und sichere Controlle für die Richtigkeit derselben besitzt. Eine solche Controlle würde sich jedoch leicht erhalten lassen, wenn eine gesetzliche Vorschrift bestände, wonach das Laufgewicht immer eine ganze Anzahl Pfunde, z. B. genau 4 oder 5 Pfund betragen, und wonach dieser Werth auf dem Stücke selbst angezeigt seyn müsste.

Bewegungen in krummer Linie.

155. Die geradlinigte Bewegung kann immer angesehen werden als die Folge der Wirksamkeit einer einzigen Kraft, die entweder ursprünglich vorhanden war, oder aus der mittleren Wirksamkeit mehrerer Kräfte hervorging.

Krummlinigte Bewegungen lassen sich nicht auf eine einzige

Ursache zurückführen; sie entstehen, wenn ein Körper, nachdem er unter dem Einflusse einer gewissen Kraft eine gewisse Geschwindigkeit bereits gewonnen hatte, durch eine andere Kraft (bewegende Kraft oder Widerstand) nach einer andern Richtung getrieben wird.

So ist z. B. die Bahn eines in wagerechter oder schiefer Richtung geworfenen Körpers eine krumme Linie, weil er von dem Augenblicke an, da er sich selbst überlassen ist, durch die Schwerkraft mehr und mehr von der anfänglichen Richtung abgelenkt wird. — Die Bewegung geworfener Körper lässt sich leicht durch die Bahn eines unter verschiedener Neigung springenden Wasserstrahls anschaulich machen.

Das Gesetz, dass ein Körper unter der Einwirkung mehrerer Kräfte sich gerade so verhält, als werde er von einer nach der andern, von jeder eine entsprechende Zeit getrieben (134), bildet eine ganz sichere Grundlage zur Berechnung dieser Bewegungen. Z. B. die Bewegung einer mit 1000 Fuss Geschwindigkeit wagerecht fortgetriebnen Kanonenkugel ist eine krumme Linie. Diese Kugel wird gleichwohl (abgesehen von dem Widerstande der Luft) nach einer Sekunde in wagerechter Richtung 1000 Fuss entfernt und lothrecht 15 Fuss gesunken seyn.

Wenn die Ablenkung eines bewegten Körpers aus der geraden Linie durch einen fortdauernden Widerstand, wie bei dem einfachen Pendel durch die Festigkeit des Fadens bedingt ist, so entsteht die Art krummlinigter Bewegung, welche man Bewegung auf vorgezeichneter Bahn nennt. Der Widerstand wirkt hier gleich einer Kraft, welche sich mit der bereits vorhandenen Ursache der Bewegung in jedem Augenblicke zu einer Resultirenden von veränderter Richtung zusammensetzt. Weil aber diese jeden Augenblick neu hinzutretende Kraft (der Widerstand) in ihrer Richtung keinen Weg zurücklegt, oder mit andern Worten: weil sie kein Bewegungsmoment hat, so kann durch ihre Wirksamkeit die vorhandene Bewegung selbst (die Grösse der Bewegung) nicht geändert werden. Z. B. das fallende Pendel erlangt seine Geschwindigkeit nur durch die Schwere; sie ist daher zu jeder Periode der niedergehenden Bewegung nur von der lothrechten Fallhöhe abhängig. Ueberhaupt erlangt ein Körper auf den verschiedensten krummlinigten Bahnen bei gleicher lothrechter Fallhöhe stets gleiche Geschwindigkeit. — Eine träge Masse, die sich um eine feste Axe dreht, erhält die ihr einmal ertheilte Geschwindigkeit unveränderlich, weil durch den gegen die Axe gerichteten Widerstand in jedem Augenblicke zwar die Richtung der Bewegung aller materiellen Theile geändert wird, aber kein neuer Bewegungseffect hinzutritt.

156. Die Bewegung eines jeden Körpers um einen festen Mittelpunct setzt voraus: eine Anziehung, welche von diesem Puncte ausgeht, oder im Allgemeinen einen gegen den Mittelpunct gerichteten Druck (Centripetalkraft), und eine Geschwindigkeit, welche jedem materiellen Theilchen winkelrecht auf die Richtung der Anziehung bereits ertheilt worden ist (Tangentialkraft). Ein Körper durch die Centripetalkraft allein getrieben, bewegt sich gegen den festen Punct; dagegen unter dem Einflusse der Tangentialkraft sucht er eine Richtung zu behaupten, welche, indem sie auf dem Radius seines augenblicklichen Ortes stets winkelrecht steht, einem Streben entspricht, sich aus der Kreisperipherie und also auch vom festen Mittelpuncte zu entfernen. Die Folge dieses Strebens ist ein Druck in entgegengesetztem

Sinne der Centripetalkraft. Er wird Centrifugalkraft genannt. Sind beide entgegengesetzten Kräfte gleich, so kann sich ein ihrem Einflusse unterworfener materieller Punct weder dem festen Puncte nähern, noch davon entfernen. Es entsteht die Kreisbewegung.

Die Kreisbewegung setzt also voraus: eine gewisse, jedem Theile der rotirenden Masse beigebrachte Geschwindigkeit und eine gegen den Mittelpunct oder gegen die Axe der Bahn gerichtete Anziehung, von der Stärke, dass der aus der Tangentialkraft entspringenden Centrifugalkraft fortdauernd das Gleichgewicht gehalten wird. Wenn die Masse des rotirenden Körpers um die Axe so vertheilt ist, dass die Wirkungen der Centrifugalkräfte sämmtlicher materieller Theile auf die Axe einander aufheben, so wird letztere eine freie Axe genannt. Z. B. die Axe der Erde ist eine freie Axe. Auch der auf einem Puncte rotirende Kreisel hat eine freie Axe.

Beweise für das Auftreten der Centrifugalkraft lassen sich leicht von einer jeden um einen festen Punct wälzenden Körpermasse ableiten. Z. B ein schwerer, an einem Faden befestigter Körper, den man im Kreise schwingen lässt, kann den Faden bis zum Zerreissen spannen. Die Schleuder.

Die Centrifugalkraft der Erde, bewirkt durch die tägliche Umdrehung um ihre Axe, ist die Ursache der Abplattung nach den Polen hin. Jeder kugelförmige, aus verschiebbaren, übrigens zusammenhängenden Theilen bestehende Körper erleidet bei der Umwälzung um einen Durchmesser eine ähnliche Abplattung. — Körper, die man aus beträchtlicher Höhe herabfallen lässt, beschreiben zu Folge der Centrifugalkraft einen Weg, der von dem Lothe etwas östlich abweicht. (Benzenberg.)

157. Beschleunigende oder verzögernde Kräfte, welche auf Theile eines Körpers ausserhalb seines Schwerpunctes gerichtet sind, bewirken eine Umdrehung der ganzen Körpermasse um den Schwerpunct, weil dieser der einzige Punct des Systems ist, dessen Lage durch die Einwirkung der Körpertheile auf einander keine Aenderung erleiden kann (153). Durch diese Bewegung hat jedoch das Gleichgewicht nach Aussen keine Störung erlitten, es ist folglich auch kein der Grösse der von Aussen her einwirkenden Kraft entsprechender Effect hervorgebracht. Der Körper empfängt daher ausser der drehenden um seinen Schwerpunct noch eine zweite geradlinigte Bewegung, ganz so, wie es hätte geschehen müssen, wenn die Kraft unmittelbar gegen den Schwerpunct wäre gerichtet gewesen, und als ob die ganze Masse in demselben vereinigt wäre.

Beispiel. Der Schwerpunct einer Kugel erhält auf der schiefen Ebne eine der Intensität der Schwere und der Neigung der Bahn entsprechende Beschleunigung. Durch den Widerstand der Bahn auf den Umkreis der Kugel wird die Bewegung in die rollende verwandelt, übrigens gerade um so viel verzögert, als wirkte der Widerstand der wälzenden Reibung unmittelbar in den Schwerpunct der Kugel.

Excentrischer Stoss.

158. Wenn die Bewegungsbahnen der Schwerpuncte zweier zusammenstossenden Körper auf ihrer gemeinschaftlichen Berührungsebne senkrecht stehen, so wird der Stoss ein gerader genannt. Bilden die Bewegungsbahnen der Schwerpuncte mit der gemeinschaftlichen Berührungsebne andere als rechte Winkel, so entsteht der schiefe Stoss. Der Stoss heisst central, wenn die gerade Linie, welche die Schwerpuncte beider Massen verbindet, zugleich durch ihren gemeinschaftlichen Berührungspunct geht, wie dies z. B. beim Zusammenstossen zweier Kugeln immer geschehen muss. Wo es nicht der Fall ist, wird der Stoss ein excentrischer genannt.

Bei den früher (118) vorgetragenen Stossgesetzen war nur der centrale gerade Stoss berücksichtigt worden. Die Wirkung des centralen schiefen Stosses kann indessen auf die des geraden leicht zurückgeführt werden, indem man sich die Bewegungsgrössen der beiden schief zusammenstossenden Körper nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte (136) so zerlegt denkt, dass vier Bewegungen entstehen, von welchen zwei an Grösse einander gleich und in der Richtung entgegengesetzt sind, folglich einander aufheben, die beiden andern gleich gerichtet sind, und folglich sich zu einander fügen.

Wenn ein Körper einen excentrischen Stoss erleidet, so erhält sein Schwerpunct eine fortschreitende Bewegung, ganz so wie beim centralen Stosse; zugleich entsteht eine Drehung der gestossenen Masse um ihren Schwerpunct, die jedoch weder auf die Richtung noch auf die Grösse der fortschreitenden Bewegung einen Einfluss hat (153).

IV. Von den physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten, insbesondere der schweren, tropfbaren Flüssigkeiten.

159. Die Grundeigenschaft flüssiger Körper ist ein sehr hoher Grad der Beweglichkeit ihrer Theile. Denkt man sich einen Körper, der diese Eigenschaft in vollkommnem Grade besitzt, so muss die kleinste Kraft hinreichen, um einzelne Theile im Innern desselben nach jeder Richtung zu verschieben, und zwar ohne dass dadurch die Gestalt des Ganzen geändert oder sein Gleichgewicht nach Aussen gestört wird.

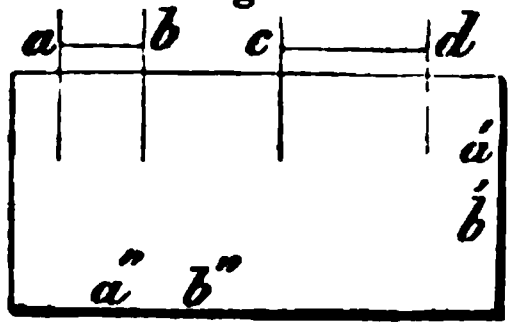
Zu Folge ihres Gewichtes besitzen alle flüssigen Theile ein Streben sich zu bewegen, zu zerfliessen. In Behältern eingeschlossen, durch deren Festigkeit sie zusammengehalten werden, üben sie auf die Wände derselben einen Druck und nehmen desshalb immer die Gestalt der Gefässe an.

160. Der auf irgend einen Theil einer vollkommen flüssigen Masse gerichtete Druck pflanzt sich durch die ganze Masse und nach jeder Richtung mit gleicher Stärke fort. Ist z. B. ein beliebiger Theil der Wand eines ringsum geschlossenen Behälters beweglich, und ist diese bewegliche Fläche einem gewissen Drucke ausgesetzt, so hat jeder andere gleich grosse Theil der Wand oder auch jeder gleich grosse Theil einer durch die Flüssigkeit, gleichgültig in welcher Richtung, gezogenen Ebne denselben Druck, rechtwinklig auf seine Fläche, auszuhalten.

Da ein materielles Theilchen von vollkommner Beweglichkeit jeder Richtung der Bewegung mit gleicher Leichtigkeit folgen kann, da ferner die Wirkungen bewegender Kräfte, wenn diese in ihrer eignen Richtung durch Widerstände aufgehalten werden, sich mit unveränderter Stärke auch nach jeder andern Richtung fortleiten lassen (123), so ergibt sich als nothwendige Folge, dass jeder Theil einer Flüssigkeit, welcher der Einwirkung einer bewegenden Kraft ausgesetzt ist, sich nur dann im Gleichgewichte erhalten kann, wenn sich nach jeder Richtung hin ein der Kraft an Grösse gleicher Widerstand vorfindet. Die bewegende Kraft muss sich also von dem Puncte ihrer Einwirkung aus nach jeder Richtung als ein ihr an Grösse gleicher Druck äussern und fortpflanzen.

Man denke sich zwei beliebig gewählte und beliebig grosse Stücke der Wand eines ringsum verschlossenen und mit Wasser ganz angefüllten Behälters beweglich gemacht. Die eine dieser beweglichen Flächen, *a b*, werde mit einem Gewichte *P* belastet, so hat jeder gleich grosse Theil der Behälterwand, *a' b* oder *a'' b''* u. s. w., denselben Druck auszuhalten. Sinkt die Fläche *a b* in den Raum der Flüssigkeit ein, so wird die andere bewegliche Fläche *c d* hervorgedrängt, so weit, dass der Weg, welchen sie zurücklegt, multiplicirt mit dem auf sie ausgeübten Drucke, gleich ist dem Weg der Fläche *a b*, multiplicirt mit dem Gewichte *P*. Die Inhalte der beiden beweglichen Flächen *a b* und *c d* seyen *f* und *F*, so lässt sich die Grösse des auf *c d* wirkenden Druckes durch $\frac{F.P}{f}$ bezeichnen. Wirkt ein eben so grosser Druck auf dieselbe Fläche auch von aussen, so hält er dem Gewichte *P* das Gleichgewicht.

Fig. 27.



Der in diesem Paragraphen erörterte Lehrsatz wird gewöhnlich das hydrostatische Grundgesetz genannt. — Anwendung auf die Brahma'sche oder hydraulische Presse.

161. Die einander berührenden Theile tropfbarer Flüssigkeiten ziehen sich sehr bemerkbar an. Wenn jedoch diese Anziehung sich nach jeder Richtung mit gleicher Stärke äussert, so kann sie die vollkommne Beweglichkeit der Theile, wenigstens im Innern der Masse, nicht hindern (104). Das hydrostatische Grundgesetz wird daher auf tropfbare Flüssigkeiten eine um so vollständigere Anwendung finden, je geringer ihre Cohäsion ist, und insbesondere je gleichförmiger sich dieselbe nach verschiedenen Richtungen äussert.

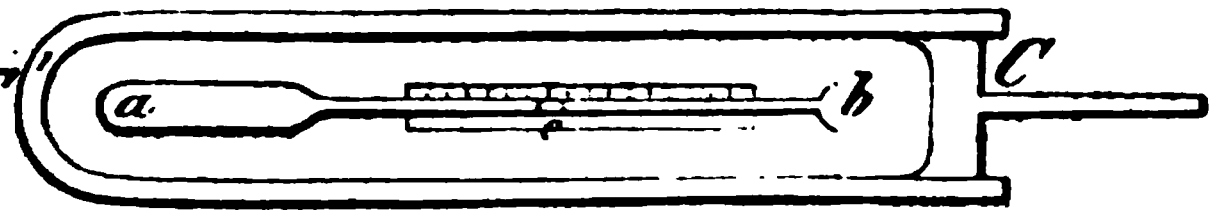
Manche Flüssigkeiten, wie Weingeist, Schwefeläther, scheinen ungeachtet der sichtbar vorhandenen gegenseitigen Anziehung ihrer Theile, im Innern der Masse eine fast vollkommne Beweglichkeit zu besitzen. Man nennt sie dünnflüssig. Weniger ist dies bei dem Wasser der Fall, namentlich bei niedriger

Temperatur; seine Flüssigkeit vermehrt sich aber durch Erwärmen. — Solche Flüssigkeiten, deren Beweglichkeit nur unvollkommen ist, wie die meisten fetten Oele, auch Quecksilber, werden dick- oder zähflüssig genannt. Sie werden durch Erhöhung der Temperatur im Allgemeinen dünnflüssiger.

162. Die tropfbaren Flüssigkeiten sind in einem sehr geringen Grade zusammendrückbar (compressibel). Messungen über ihre Zusammendrückbarkeit, welche von Canton, Oerstedt und zuletzt und in der grössten Ausdehnung von den Genfer Physikern Colladon und Sturm unternommen worden sind (Pogg. Ann. 12. S. 39), haben gezeigt: dass die Zusammendrückbarkeit für gleiche Zunahmen des Druckes zwar im Allgemeinen abnimmt, jedoch bei den meisten Flüssigkeiten in so wenig merklicher Weise, dass sie innerhalb ziemlich weiter Gränzen den drückenden Kräften proportional gesetzt werden darf. Nach Wegnahme des äussern Druckes stellt sich das anfängliche Volum stets wieder her; die tropfbaren Flüssigkeiten besitzen also eine vollkommne Compressions-Elasticität.

Um Flüssigkeiten auf ihre Compressibilität zu untersuchen, bringt man sie in ein Glasgefäss (Piézometer), das nach Art der Thermometer aus einem geräumigen Behälter und einer sehr engen, oben offnen Röhre gebildet ist. Die Röhre ist in gleiche Raumtheile getheilt, und das Verhältniss ihres Inhaltes zu dem des Behälters bekannt. Der auf den Inhalt der Röhre ausgeübte Druck theilt sich gleichmässig der ganzen, im Piézometer befindlichen flüssigen Masse mit, und wenn sie wirklich compressibel ist, wird die Länge der in der Röhre enthaltenen Säule auf messbare Weise abnehmen. Weil aber der auf die Flüssigkeit wirkende Druck sich auch auf die Innenwände des Glasgefässes fortpflanzt, so müsste dieses ausgedehnt und dadurch das Resultat des Versuchs zweifelhaft werden. Um diesem Uebelstande vorzubeugen umgibt man das Pié-

Fig. 28.



zometer *a b* mit einem Glascylinder CC' von sehr dicken Wänden, der an einem Ende verschlossen, am andern offen ist, und mit Wasser gefüllt wird. Am offnen Ende ist eine passende Vorrichtung angebracht, um das Wasser z. B. durch Eindringen einer Schraube, oder mittelst einer Druckpumpe, oder auf andere Weise zusammenzupressen. Es ist einleuchtend, dass dieser Druck sich nunmehr gleichmässig auf die Innen- und Aussenwände des Piézometers fortpflanzt. Um aber die Vermischung der äusseren und inneren Flüssigkeit zu verhindern, sind beide bei *v* in der Röhre durch eine Luftblase getrennt.

Denkt man sich die folgenden Flüssigkeiten in Glasgefässen, auf je 1 Par. Q. Z. Fläche einem Drucke von 7573 Gramme (einem Atmosphärendrucke) ausgesetzt, so beträgt ihre Volumsverminderung, ein Milliontel des anfänglichen Volums ausgedrückt, bei

luftfreiem Wasser von 0°	48
lufthaltigem Wasser von 0°	47,2
Alkohol von 11,°6	92,9
Schwefeläther von 0°	130
„ von 11,°4	146
Schwefelsäure von 0°	28,6
Terpentinöl von 0°	69,7
Quecksilber von 0°	1,73.

Zu Folge der Art, wie die betreffenden Versuche angestellt sind, wird aber die Glasmasse des Piézometers selbst zusammengedrückt, und dadurch ihr Volum um 1,65 Milliontel vermindert. Um dieselbe Grösse vermindert sich der innere Raum des Glasgefässes. Um dieselbe Grösse vermindert sich der innere Raum des Glasgefässes. Um die wirkliche Zusammendrückbarkeit obiger Flüssigkeiten zu erhalten muss, daher zu jeder in der Tabelle enthaltenen Zahl noch 1,65 hinzugefügt werden.

Eine Vergleichung der Volumsverminderung flüssiger Körper durch äussern Druck mit derjenigen durch Temperatur-Erniedrigung gibt einen Begriff von der ausserordentlichen Gewalt, womit die letztere vor sich geht. Z. B. die mittlere Ausdehnung oder Zusammenziehung des Wassers für 1° Temperatur-Aenderung beträgt 0,00042 des Volums bei 0°. Um dieselbe Raumverminderung durch äusseren Druck hervorzubringen, muss jeder Q. Z. der Wasserfläche mit einem Gewichte von 9.7,573 = 68 Kilogrm. belastet werden.

Da die Dichtigkeits-Zunahme der Flüssigkeiten durch äusseren Druck so sehr gering ist, so wird eine Berücksichtigung derselben in den meisten Fällen überflüssig; d. h. man begeht keinen merklichen Fehler, indem man die tropfbar flüssigen Körper als unzusammendrückbar betrachtet.

163. Die höher liegenden Schichten flüssiger Massen drücken wegen ihres Gewichtes auf die tiefer liegenden; dieser Druck pflanzt sich in Folge der Beweglichkeit der Theile (160) nach allen Richtungen bis zu den festen Wänden der Behälter fort und wird von diesen mit gleicher Stärke zurückgegeben. Irgend ein Theilchen im Innern der Wassermasse, wenn es sich in Ruhe befindet, erleidet folglich von jeder Richtung her einen gleich starken Druck und gibt denselben nach jeder Richtung zurück. Ein Punct der Gefässwand empfängt und gibt wieder denselben Druck wie das Wassertheilchen, welches damit in Berührung steht. Jeder Punct eines in die Flüssigkeit eingetauchten festen Körpers muss sich, sobald das Gleichgewicht hergestellt ist, auf dieselbe Weise verhalten, und kann daher als ein Theil der Gefässwand angesehen werden.

164. Die Oberfläche schwerer Flüssigkeiten in weiten Behältern bildet für die Bedingung des Gleichgewichtes eine wagerechte Ebne, bis zu deren Höhe hin Gefässe von jeglicher Form vollständig ausgefüllt werden.

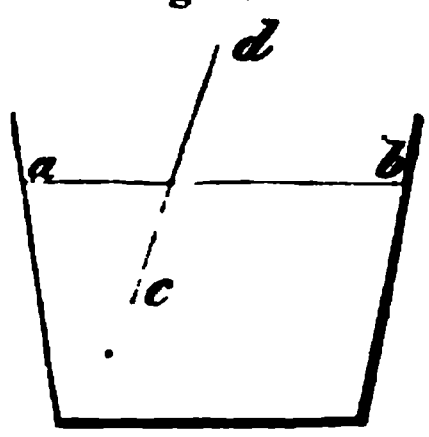
Die wagerechte Oberfläche des Wassers wird der Wasserspiegel oder auch das Niveau genannt.

Der Spiegel der grossen Wasserbehälter unserer Erde, der Meere, fällt mit der wagerechten Erdoberfläche zusammen und besitzt also die Gestalt einer Kugeloberfläche.

165. Die Wasserspiegel in zusammenhängenden (communicirenden) Gefässen liegen nach eingetretener Ruhe stets in derselben wagerechten Ebne.

Dieser Lehrsatz ist eigentlich nur eine Erweiterung des vorhergehenden. Denkt man sich in einen offnen Wasserbehälter *a b* an irgend einer Stelle eine

Fig. 29.



feste Wand *d c* eingeschoben, so kann dadurch im früheren Gleichgewichtszustande nichts geändert werden, weil jeder Punct dieser Wand von den benachbarten flüssigen Theilen gedrückt wird und ihnen Widerstand leistet, gerade so wie es mit denjenigen Wassertheilen der Fall war, deren Stelle er eingenommen hat. Diese Behauptung bleibt wahr, welche Gestalt die Wand haben und bis zu welcher Tiefe sie eingesenkt worden seyn mag. Zwei zusammenhängende Behälter lassen sich aber immer als ein einziger betrachten, der durch Einschieben fester Wände in zwei Abtheilungen getheilt worden ist. Eine Folge dieses Satzes ist: dass, wenn mehrere Gefässe im Zusammenhange stehen, und nur in eines derselben Wasser gegossen wird, es sich gleichwohl in allen verbreitet, und dass Ruhe nicht eher eintreten kann, als bis es sich in allen zu derselben lothrechten Höhe über die wagerechte Bodenfläche erhoben hat, mögen nun die hierdurch gebildeten Wassersäulen selbst lothrecht stehen oder nicht, mag ihre Form regelmässig oder unregelmässig seyn, mögen sie gleiche oder verschiedene Dicken besitzen. — Leitung des Wassers durch Röhren; Quellen; artesische Brunnen oder Springquellen; Verbreitung des Wassers durch poröses Erdreich; Grundwasser. Auf dem Princip der communicirenden Röhren beruht auch die einfachste Art der Wasserwage (Canalwage, Quecksilberwage), eines Nivellirinstrumentes, d. h. eines Werkzeuges, welches dazu dient, sich der Lage der Horizontal-Ebne zu versichern.

166. Flüssige Theile, die in gleicher Tiefe unter dem Wasserspiegel, d. h. in demselben wagerechten Querschnitte liegen, haben, was immer die Gestalt des Gefässes seyn mag, gleichen Druck auszuhalten. Denselben Druck erleiden die anliegenden Theile der Gefässwand.

Denn irgend ein Theilchen in dem betreffenden Querschnitte, sobald Ruhe eingetreten ist, pflanzt den Druck, der darauf wirkt, nach allen Seiten, mithin auch nach der wagerechten Richtung gleichförmig fort. Die Bedingung des Gleichgewichtes erfordert also, dass alle Theile in demselben Querschnitte auch denselben Druck erleiden und zurückgeben.

167. Die wagerechte Bodenfläche eines cylindrischen, mit Wasser angefüllten Gefässes hat einen Druck auszuhalten, der gleich ist dem Gewichte der darin enthaltenen Flüssigkeit, nämlich gleich dem Gewichte einer Wassersäule, deren kubischer Inhalt gefunden wird, indem man den Quadrat-Inhalt der Bodenfläche mit dem Abstande des Wasserspiegels darüber multiplicirt.

Jede wagerechte Ebne, die man sich durch den Cylinder gelegt denkt, hat einen Druck auszuhalten, der gleich ist dem Gewichte des darüber stehenden Wassers. Der Druck auf verschiedene wagerechte Querschnitte ist also ungleich; er nimmt zu in geradem Verhältnisse zur Tiefe derselben unter dem Spiegel.

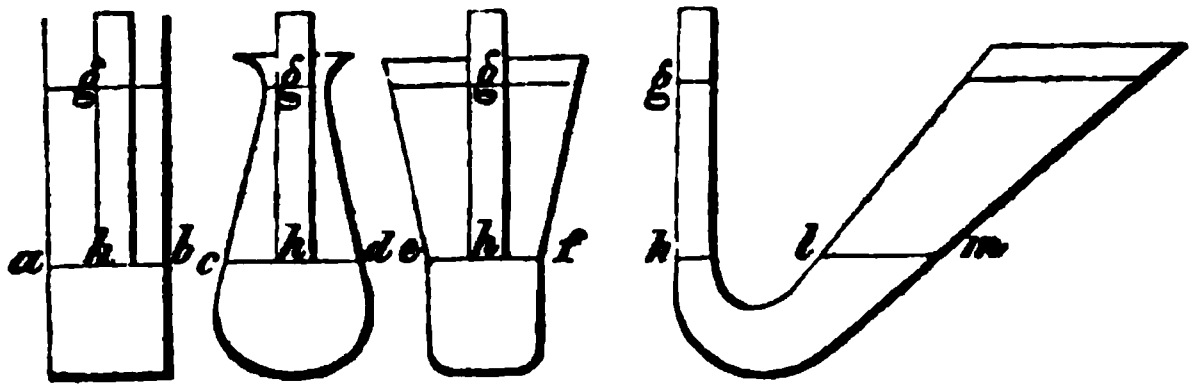
168. Der Druck auf die wagerechte Bodenfläche eines beliebig gestalteten Gefässes wird gefunden, indem man ihren Flächeninhalt mit der lothrechten Höhe der darüber stehenden Flüssigkeit und mit dem Gewichte der kubischen Einheit dieser Flüssigkeit keit multiplicirt.

Der Druck auf eine wagerechte Ebne, welche man sich an

beliebiger Stelle durch eine flüssige Masse gelegt denkt, ist von oben und unten gleich, und entspricht seiner Grösse nach dem Gewichte einer Säule derselben Flüssigkeit, die den wagerechten Querschnitt zur Grundfläche und die lothrechte Höhe des Standes der Flüssigkeit darüber zur Höhe hat. Dieser Druck ist ganz unabhängig von der Form der Gefässe.

Der Druck, welchem nur eine einzige Stelle in dem wagerecht geführten Querschnitte unterworfen ist, wirkt auf alle übrigen Theile desselben und nach jeder Richtung mit gleicher Stärke. Nun denke man sich in die beliebig gestalteten Wasserbehälter einen oben und unten offnen Glascylinder *g h*, z. B. bis *h*

Fig. 30.



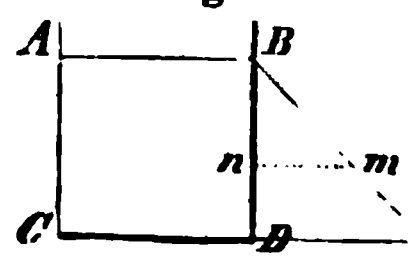
eingesenkt; das frühere Gleichgewicht kann dadurch nicht gestört werden. Es ist aber einleuchtend, dass die durch den Umfang des Cylinders bei *h* begränzte Fläche den Druck der Wassersäule *g h* auszuhalten hat; demselben Drucke muss folglich jede gleich grosse Fläche bei gleicher Tiefe unter dem Spiegel unterworfen seyn. Die Querschnitte *a b*, *c d*, *e f* und *l m* bei gleichem Quadrat-Inhalte und gleicher Tiefe unter dem Spiegel, haben demnach, was immer die Form der Gefässe sey, einen gleichen Druck zu erleiden, dessen Grösse zu der lothrechten Höhe *g h* (der Wasserhöhe) in geradem Verhältnisse steht.

Die Wassersäule *g h* hält der übrigen Wassermasse das Gleichgewicht. Hat man die Oeffnung bei *h* vor dem Einsenken des cylindrischen Rohrs mit einer dünnen Platte bedeckt, die das Eindringen des Wassers verhindert, so wird diese mit einer Gewalt angepresst, die dem Gewichte der Wassersäule *g h* genau gleich ist. Zieht man eine feste Wand durch den übrigen Theil des Behälters, z. B. durch den Querschnitt *l m*, so muss dieselbe, um nicht gehoben zu werden, einen Widerstand leisten können, der an Grösse gleich ist dem Gewichte einer Wassersäule von der Höhe *g h* und der Grundfläche *l m*. Man kann auf diese Weise vermittelst einer Wassersäule von geringer Weite, aber beträchtlicher Höhe einen sehr bedeutenden (hydrostatischen) Druck hervorbringen. Anwendungen hiervon sind die Real'sche Kräuterpresse und der anatomische Heber (Gehler's Wörterb. 5. S. 137).

169. Die Seitenwände der Behälter erleiden an der Wasseroberfläche gar keinen Druck. Der Druck auf jede tiefer liegende Stelle steht in geradem Verhältnisse zur Tiefe derselben unter dem Spiegel.

Beispiel. Es bezeichne *A B C D* einen Wasserbehälter mit viereckigen, senkrecht stehenden Seitenwänden, *B D* die Höhe des Wasserstandes. Man trage *B D = D b* in die Verlängerung der Bodenfläche und ziehe *B b*. Eine beliebig gewählte Stelle *n* der Seitenwand hat einen Druck auszuhalten von derselben Grösse, als ob eine Wassersäule von der Höhe *B n = n m* darauf ruhte. Der gesammte Druck des Wassers auf die Seitenwand *B D* entspricht daher dem Gewichte eines prismatischen Wasserkörpers, welcher das rechtwinklige und gleichschenklige Dreieck *B D b* zur Basis und die Breite der Wand zur Höhe hat.

Fig. 31.

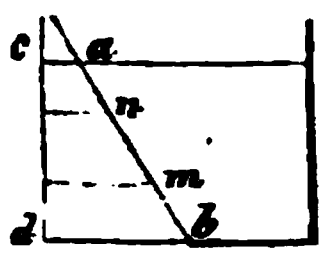


Aufgabe. Es ist der Schwerpunct oder der gemeinschaftliche Angriffspunct sämmtlicher auf die viereckige Seitenwand *B D* wirkender Pressungen zu bestimmen (128).

Durch Rechnung lässt sich der Beweis führen, dass ebne Gefässwände von jeder Gestalt und Lage (mögen sie senkrecht oder schief stehen), so weit sie vom Wasser berührt werden, einen Druck winkelrecht auf ihre Fläche erleiden, dessen Grösse dem Gewichte einer Wassersäule entspricht, welche die vom Wasser berührte Wand zur Grundfläche und den Abstand ihres Schwerpunctes vom Spiegel zur Höhe hat.

170. Den winkelrechten Druck des Wassers auf schief stehende Gefässwände kann man sich aus zwei Kräften zusammengesetzt vorstellen, von welchen die eine in wagerechter, die andere in senkrechter Richtung wirksam ist. Die Grösse des wagerechten Druckes zu beurtheilen, denke man sich in der Richtung desselben durch jeden Punct des Wassers *a, n, m* u. s. w. der die schiefe Wand *a b* berührt, eine gerade Linie gezogen, man denke sich ferner eine Verticalebne *c d*, welche alle diese parallelen Linien winkelrecht durchschneidet. Könnte der in der Richtung jeder dieser Wasserlinien wirkende Druck sich bis zu der Vertikalebne *c d* fortpflanzen, so würde die Grösse des Gesammtdruckes, welchen sie auszuhalten hätte, genau entsprechen, dem wagerechten Seitendruck auf die schiefe Wand.

Fig. 32.



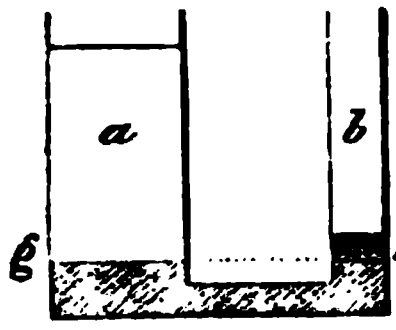
Diese Betrachtung gilt mit demselben Rechte für jeden einzelnen Theil einer schiefen Wand, und lässt sich folglich auch auf gekrümmte Seitenwände ausdehnen. Man wird hierdurch zu dem Schlusse geführt, den die Erfahrung bestätigt, dass der wagerechte Druck auf einen beliebigen Punct der Seitenwand eines Behälters durch einen gleich grossen, aber entgegengesetzten Druck auf die gegenüberstehende Seitenwand stets aufgehoben wird.

Anwendung zur Bestimmung des Druckes, wodurch Röhren, die mit Wasser oder andern Flüssigkeiten gefüllt sind, zersprengt werden. Erklärung, warum dieser Druck unter sonst gleichen Umständen dem Durchmesser der Röhren proportional ist.

171. Wenn sich in der Seitenwand eines Behälters unterhalb des Spiegels der Flüssigkeit eine Oeffnung befindet, durch welche das Wasser ausfliesst, so kann sich an dieser Stelle auf die Gefässwand selbst kein Druck mehr äussern. Auf die gegenüberstehende Wand wirkt daher ein Uebergewicht des wagerechten Druckes, die sogenannte rückwirkende Kraft. Ein leicht beweglicher Wasserbehälter wird durch die rückwirkende Kraft in ihrer Richtung, also in entgegengesetzter des ausfliessenden Wassers in Bewegung gesetzt. Segner's Wasserrad oder Kreiselrad; Reactionsmaschinen; Raketen. Stossen der Gewehre; Zurücklaufen der Kanonen.

172. Flüssigkeiten von ungleicher Dichtigkeit in zusammenhängenden Gefässen füllen diese zu ungleicher Höhe an.

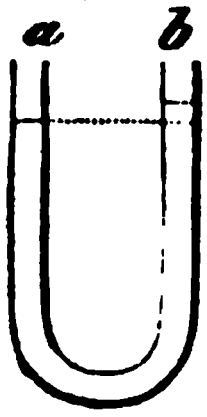
Fig. 33.



Es sey z. B. in beiden Behältern bis zur wagerechten Ebne *g h* Quecksilber enthalten; darüber stehe in *a* eine Wassersäule, in *b* eine Säule von Quecksilber, so wird letzteres, dessen specifisches Gewicht 13,6 ist, eine 13,6mal geringere Höhe als das Wasser einnehmen. Denn der Druck, den beide Flüssigkeiten auf gleich grosse Stücke der Ebne *g h* ausüben, muss gleich seyn, eine Bedingung, die nur dann erreicht wird, wenn die Höhen der über *g h* sich erhebenden flüssigen Säulen sich verhalten, umgekehrt wie die Dichtigkeiten der betreffenden Flüssigkeiten.

Die Dichtigkeit der Flüssigkeiten ändert sich wie die aller Körper mit der Temperatur. Hieraus folgt, dass, wenn man in ein heberförmig gebogenes Rohr *a b* eine Flüssigkeit bringt, und dann den einen Schenkel des Rohrs, z. B. *b*, erwärmt, den andern kalt lässt, das Niveau in *b* sich über das in *a* erheben muss. Diese Höhenveränderung beider flüssigen Säulen ist weder von der Gestalt noch von der Weite der zusammenhängenden Gefässe, und also nur von der Aenderung, welche in der absoluten Dichtigkeit der Flüssigkeit stattfand, abhängig.

Fig. 34.



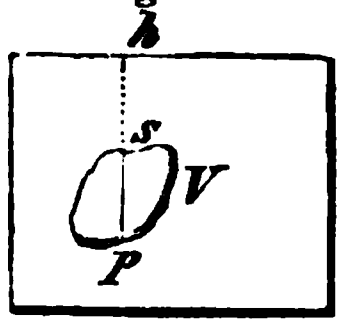
Dieses Prinzip ist von Dulong und Petit (Ann. de Ch. et de Ph. VII. 118) benutzt worden, um die Ausdehnung des Quecksilbers unabhängig von der des Glases zu messen.

Verhalten der Flüssigkeiten gegen darin eingetauchte feste Körper.

173. Jeder Körper, der unter die Oberfläche des Wassers getaucht ist, hat, gleichgültig in welcher Tiefe er sich befinden mag, einen Druck im entgegengesetzten Sinne der Schwere auszuhalten, dessen Grösse gleich ist dem Gewichte des durch den eingetauchten Körper verdrängten Wassers, und dessen Richtung durch den Schwerpunct des Raumes geht, woraus das Wasser verdrängt worden ist. Dieser aufwärts wirkende Druck wird Auftrieb genannt.

Im Innern einer flüssigen Masse, die in Ruhe ist, befindet sich auch jeder Theil *V* in Ruhe, den man, gleichgültig an welcher Stelle und von welcher Gestalt, als abgeschlossnes Ganzes für sich betrachten mag. Der wagerechte Druck auf den Umfang *V* hebt sich nach allen Seiten auf (166). Irgend eine kleine Wassersäule *s p*, die einen Bestandtheil von *V* ausmacht, erleidet einen Druck, von oben proportional der Höhe *h s*, von unten proportional der Höhe *h p*. Der Unterschied beider Pressungen ist das Gewicht der Säule *s p*. Dasselbe ist mit allen gleichlaufenden Wassersäulen der Fall, aus deren Summe der Wasserkörper *V* zusammengesetzt ist. Dieser erleidet folglich von unten einen Druck, der gerade um sein eignes Gewicht grösser ist, als der Druck von oben. Es ist aber einleuchtend, dass die Resultirende sämmtlicher aufwärts gerichteten Pressungen, gleich wie die Resultirende sämmtlicher schweren Theile des Wasserkörpers *V*, durch dessen Schwerpunct gehen muss.

Fig. 35.



Ein fester Körper, den man in das Wasser einsenkt, erleidet von jeder Seite

her genau denselben Druck, wie die Flüssigkeit, welche er verdrängt hat. Die Resultirende aller dieser Pressungen, der Auftrieb, ist folglich gleich dem Gewichte des verdrängten Wassers, und geht durch den Schwerpunct des Raumes, welchen es früher ausgefüllt hatte.

Der hier erwiesene Lehrsatz heisst nach seinem Entdecker: das Theorem des Archimedes.

174. Wenn die Dichtigkeit eines untergetauchten Körpers mit derjenigen der Flüssigkeit genau übereinstimmt, so wird seinem eignen Gewichte durch den Auftrieb das Gleichgewicht gehalten. Dieser Körper, insofern er aus gleichartiger Masse besteht, verharrt daher gleich gut in jeder Lage unter dem Wasserspiegel. An einem Faden befestigt, der über das Niveau hervorgeht, würde er aufhören, diesen zu spannen, gerade so, als hätte er sein ganzes Gewicht verloren.

175. Körper, die schwerer sind als die Flüssigkeit, unter deren Spiegel man sie taucht, verlieren von ihrem Gewichte nur so viel, als die verdrängte Flüssigkeit wiegt. Nur ein Theil ihres Gewichtes wird von dem Wasser getragen. Sie sinken daher unter, wiewohl mit einer um das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit verminderten Schwere. Ihre Fallbeschleunigung wird um so geringer seyn, je weniger ihr specifisches Gewicht von dem der Flüssigkeit abweicht. Fall des Bleies, des Glases, des Wachses im Wasser.

Wie gross ist der Druck, den ein im Wasser untersinkender Körper während des Falles auf den Boden des Gefässes ausübt?

Die Beschleunigung eines innerhalb einer flüssigen Masse fallenden Körpers würde eine gleichförmig fortdauernde seyn (112) $c' = c\frac{p-\delta}{p}$ (wo p das Gewicht des Körpers, δ das der verdrängten Flüssigkeit bezeichnet), wenn ausser der durch den Auftrieb verminderten Schwere kein anderer Widerstand vorhanden wäre. Allein der fallende Körper setzt nicht nur seine eigne Masse, sondern auch die ihn umgebende Flüssigkeit in Bewegung, und der hierzu nöthige Theil der bewegenden Kraft wächst mit der zunehmenden Fallgeschwindigkeit; er ist in jedem Augenblicke dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional. Die eintretende Bewegung ist folglich keine gleichförmige sondern eine abnehmend beschleunigte, und es muss endlich ein Zeitpunct eintreten, wo jeder neue Zuwachs an Geschwindigkeit durch die gleichzeitig eintretenden Verluste wieder aufgehoben wird. D. h. der Fall der Körper durch ein widerstehendes flüssiges Mittel verwandelt sich bei unbegränzter Fortdauer mehr und mehr in eine gleichförmige Bewegung. Dieser Uebergang zur gleichförmigen Bewegung wird übrigens um so schneller bemerkbar werden, je grösser die Oberfläche eines Körpers im Verhältniss zu seiner Masse, und je geringer seine Dichtigkeit verglichen mit derjenigen der Flüssigkeit.

Langsames Absetzen im Wasser fein vertheilter Stoffe. Leichte Körper, wie Federn, in der Luft. Schweben des Staubes, der Wolken.

176. Körper, die leichter sind, als das Wasser, können, unterhalb des Spiegels sich selbst überlassen, dem Auftriebe keinen gleichen Druck entgegensetzen und werden daher mit abnehmend beschleunigter Geschwindigkeit aufwärts getrieben durch eine

Kraft, die gleich ist dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit, weniger dem des untergetauchten Körpers.

Aufsteigen des Holzes im Wasser, der Luft und anderer Gase in allen tropfbaren Flüssigkeiten, des Rauches, des Luftballons in der Atmosphäre.

Erwärmtes Wasser erhebt sich in kälterem, weil es ausgedehnter und folglich specifisch leichter ist. Hieraus erklärt sich die Schnelligkeit, womit Wasser und andere Flüssigkeiten, wenn auch ihre Leitfähigkeit gering ist, sich erwärmen lassen, sobald die Wärme am Boden der Gefässe eindringt.

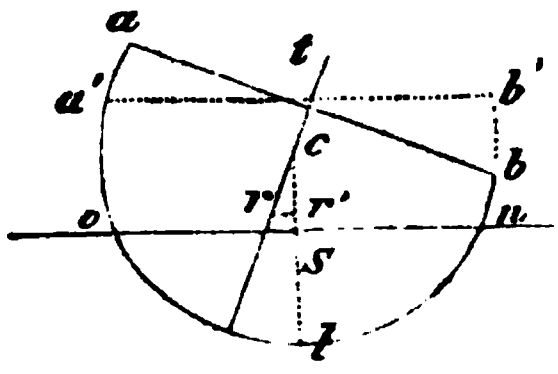
Auf der Eigenschaft leichterer Flüssigkeiten sie in schwereren so lange aufzusteigen, bis sie den höchstmöglichen Stand eingenommen haben, beruht auch die Einrichtung einer vorzüglichen Art von Wasserwagen, der Röhrenlibelle und Dosenlibelle.

177. Das Uebergewicht des Auftriebes dauert fort, so lange der specifisch leichtere Körper sich ganz unter der Oberfläche der Flüssigkeit befindet. Für die Bedingung des Gleichgewichtes muss daher ein Theil seines körperlichen Raumes über den Spiegel hervortreten, so weit, dass sein eignes Gewicht eben so viel beträgt, als das des Wassers, welches er noch verdrängt. In diesem Zustande befinden sich die schwimmenden Körper.

Das Gleichgewicht eines schwimmenden Körpers erfordert aber noch weiter, dass seine eigne Schwerpunctslinie durch den Schwerpunct des Raumes gehe, woraus das Wasser verdrängt worden ist, oder anders ausgedrückt, dass sie mit der Wirkungslinie des Auftriebes zusammenfalle. Ist ein solches Verhältniss noch nicht vorhanden, so stellt es sich nach einer Reihe von Oscillationen immer von selbst her.

Es sey *a l b* der schwimmende Körper, *r* sein Schwerpunct, *o l n* der eingetauchte Theil, *s* der Schwerpunct dieses Raumes, die Linie *s c* bezeichnet demnach die Richtung des Auftriebes. Der schwimmende Körper würde sich in der Lage *a' l b'* im Gleichgewichte befinden, weil in diesem Falle die Linie *c r' s*, die Wirkungslinie seiner Schwere, mit der Richtuag des Auftriebes zusammenfallen müsste. Er strebt daher diese Lage anzunehmen, indem sein Schwerpunct den Kreisbogen *r r'* beschreibt, gleich als drehte er sich um den festen, durch den Auftrieb getragenen Punct *c*. Dieser Punct, in welchem die Linie *s c*, die Richtung des Auftriebes, und die Linie *r c*, die Wirkungslinie der Schwere, während der Gleichgewichtslage des schwimmenden Körpers einander durchschneiden, wird das Metacentrum genannt. Ein aus der Gleichgewichtslage gebrachter schwimmender Körper oscillirt um sein Metacentrum, wie ein Pendel um seine Axe. Die Lage dieses Punctes ist übrigens in den meisten Fällen nicht ganz unveränderlich; es wird dies nur dann der Fall seyn, wenn, wie in unserem Beispiele, der Schwerpunct des Raumes, woraus das Wasser verdrängt ist, bei jeder Lage des schwimmenden Körpers dieselbe Stelle behauptet.

Fig. 36.



Die Gleichgewichtslage eines schwimmenden Körpers ist sicher, oder herausgebracht, wird er durch eine Reihe von Oscillationen in dieselbe zurückkehren, wenn sein Schwerpunct unter dem Metacentrum liegt, um so sichrer, je grösser der Abstand beider Puncte. Dagegen muss er umfallen, wenn durch eine geringe Verrückung aus der Gleichgewichtslage sein Schwerpunct über das Metacentrum, z. B. nach *t*, zu stehen kommt.

Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper auf hydrostatischem Wege.

178. Man findet den kubischen Inhalt eines festen Körpers, indem man aus seiner Gewichtsabnahme beim Untertauchen unter Wasser, d. h. aus dem Gewichte der verdrängten Flüssigkeit, den körperlichen Raum der letzteren ableitet. Das absolute Gewicht eines Körpers, dividirt durch seinen Gewichtsverlust im Wasser, gibt folglich sein specifisches Gewicht (30).

Dieses Princip lässt sich vermittelst einer gewöhnlichen Wage von genügender Empfindlichkeit auf zweierlei Weise in Ausführung bringen:

a) Die eine Wagschale ist eigens zum Zwecke dieser Art Untersuchungen (daher der Name: hydrostatische Wage) etwas kürzer als die andere, so dass sich bequem ein Wassergefäss untersetzen lässt. Sie ist an der unteren Fläche mit einem Haken versehen, von welchem ein sehr feiner Platindraht herabhängt, der einen wesentlichen Theil des Apparates ausmacht und daher im Voraus ins Gleichgewicht gesetzt werden muss. An diesem Drahte wird der Körper befestigt, dessen Volum bestimmt werden soll. Es sey z. B. ein Stück Eisenglanz. Zuerst in der Luft abgewogen, findet man 32,12 Gramme; man lässt ihn hierauf in das Wasser eintauchen, es ergibt sich ein Gewichtsverlust, zu dessen Ausgleichung in die kürzere Schale 6,13 Gramme zugelegt werden müssen. 6,13 Gramme Wasser sind 6,13 C. C.; so viel beträgt also der räumliche Inhalt des gewählten Körpers. Sein specifisches Gewicht ist $\frac{32,12}{6,13} = 5,24$.

Körper, die leichter sind als das Wasser, befestigt man in einer Zange von Platin oder Silber, die von der Schale herabhängt, im Voraus unter Wasser tarirt und schwer genug ist, den davon ergriffenen Körper ebenfalls unter Wasser zu halten. Z. B. ein Stück weisses Wachs wog 11,919 Gramme, das Gewicht des verdrängten Wassers betrug 12,3 Grm.; daher specifisches Gewicht $= \frac{11,919}{12,3} = 0,969$.

b) Ein Glasgefäss mit weiter Oeffnung lässt sich mittelst eines konisch eingeschliffenen Stöpsels dicht verschliessen. Damit letzterer, wenn das Gefäss mit Flüssigkeit ganz angefüllt ist, doch immer zu gleicher Tiefe einsinken kann, ist es rathsam, wenn auch nicht unumgänglich nöthig, denselben der Länge nach fein zu durchbohren. Dieses Gefäss mit reinem Wasser gefüllt, wiegt z. B. . . . . 120,102 Gramme.
Ein Stückchen Glas, dessen specifisches Gewicht man kennen will, zuerst in der Luft abgewogen, entspricht 16,213 „
also beides zusammen 136,315 Gramme.
Man öffnet nnu das Gefäss, bringt das Glasstückchen hinein, schliesst wieder und nimmt alles abfliessende Wasser mit Löschpapier sorgfältig weg. Wieder auf die Wage gebracht zeigt, sich ein Gewichtsverlust von 6,540 Grammen. Er bezeichnet das Gewicht des verdrängten Wassers, oder als Cubikcentimeter gelesen, den Rauminhalt des Glasstückes. Daher specifisches Gewicht desselben $\frac{16,213}{6,540} = 2,479$.

Das zweite Verfahren erlaubt eine grössere Genauigkeit in der Ausführung, als das erste, und ist besonders bei der Bestimmung des specifischen Gewichtes pulverförmiger Stoffe weit vorzuziehen, weil es die Entfernung aller etwa dem Pulver anhängenden Luft gestattet. Zu dem Ende braucht man nur die festen Theile in dem Gefässe selbst mit reinem

Wasser zu mengen und einige Zeit der Siedhitze auszusetzen, oder auch unter die Luftpumpe zu bringen. Bei noch feuchten Niederschlägen bedarf es dieser Vorsicht nicht (G. Rose). Es ist daher zweckmässig, das specifische Gewicht pulverförmiger Stoffe, wo es angeht, so zu bestimmen, dass man zuerst den frisch erhaltenen Niederschlag mit reinem Wasser gemengt wiegt, dann abraucht, trocknet und die Wägung in der Luft zuletzt vornimmt.

Wenn ein Körper im Wasser löslich ist, so wiegt man ihn in einer andern Flüssigkeit von bekannter Dichtigkeit, worin er sich nicht auflöst, z. B. in Weingeist, Terpentinöl u. s. w.

Das auf die eine oder andere Art ermittelte Volumen eines Körpers erfordert gewöhnlich eine kleine Berichtigung wegen der mit der Temperatur veränderlichen Dichte des Wassers. Eine Grm. Wasser entspricht nämlich nur bei 0° einem Cubikcent., bei jeder andern Temperatur nimmt es einen andern Raum ein, z. B. bei 16° den Raum von 1,000872 C. C. (Taf. III.) Angenommen, obige Dichtigkeitsbestimmung des Glases sey bei 16° gemacht worden, so würde das Volumen der 16,213 Grm. Glas nicht 6,540, sondern $6{,}54 \times 1{,}000872 = 6{,}546$ C. C. ausmachen. Diese Berichtigung wird unnöthig, wenn das specifische Gewicht des Körpers auf das des Wassers bei der Beobachtungs-Temperatur bezogen werden soll.

Eine zweite, bei specifischen Gewichtsbestimmungen vorkommende Correction bezieht sich darauf, dass die Körper beim Abwägen in der Luft um ein Geringes zu leicht gefunden werden. Hiervon kann jedoch erst später die Rede seyn.

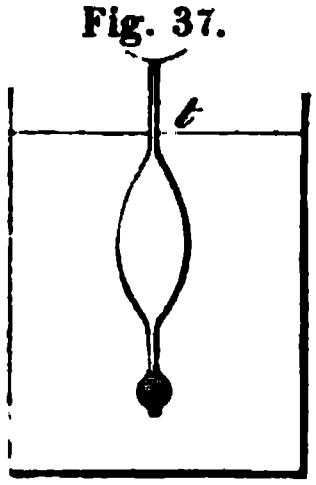
179. Die specifischen Gewichte ungleich dichter Flüssigkeiten verhalten sich wie die ungleichen Gewichtsabnahmen, welche ein in diese Flüssigkeiten versenkter fester Körper erleidet. Das specifische Gewicht einer Flüssigkeit wird folglich gefunden, indem man den Gewichtsverlust eines darin untergetauchten, beliebig gestalteten Körpers durch den Verlust, den derselbe Körper in reinem Wasser erleidet, dividirt.

Kennt man den kubischen Inhalt des untergetauchten Körpers, so lässt sich aus der Abnahme seines Gewichtes durch einfache Division das Gewicht der kubischen Einheit der Flüssigkeit ableiten. Auf diesem Wege hat Lefèvre-Gineau mittelst eines sehr genau gemessenen Cylinders von Messing das Gewicht von 1 Cubikdecimeter Wasser bei 4° bestimmt, und nannte es Kilogramme.

Mit Beibehaltung desselben Princips kann das specifische Gewicht flüssiger Körper auch ohne Hülfe der hydrostatischen Wage vermittelst eines besonderen Apparates bestimmt werden, welcher Senkwage oder Gewichts-Aräometer genannt wird und von Fahrenheit erfunden worden ist.

Dieses Werkzeug ist wie Fig. 37 gestaltet, und am besten von Glas. Das untere, kugelförmige Ende enthält Quecksilber, damit der Schwerpunct möglichst herabgesenkt und dadurch dem Glasgehäuse gestattet wird, in der aufrechten Stellung zu schwimmen. Oben trägt es eine kleine Schale. Es geht in reinem Wasser nicht unter, aber sein Gewicht *(P)* ist so regulirt, dass, wenn noch eine gewisse Anzahl Gewichtstheile *(p* Grm.) in die Schale gelegt wird, es gerade bis zu dem Puncte *t* des sehr dünnen cylindrischen Stieles, der Gefäss und Schale verbindet, einsinkt. Angenommen, die unbelastete Senkwage wiege $P = 21{,}8$ Grm., und man habe $p = 8{,}85$ Grm. in die Schale geben müssen, bis der Punct *t* die Oberfläche des reinen Wassers berührte. Also ganzes Gewicht der verdrängten Flüssigkeit $P + p = 30{,}65$ Grm. In einer andern Flüssigkeit, z. B. in einem Gemische von Weingeist und Wasser, brauchte man nur $p' = 5{,}5$ Grm. zuzulegen. Dasselbe Volum dieser andern Flüssigkeit

Fig. 37.



wog also nur $P + p' = 27{,}3$ Grm. Daher das specifische Gewicht dieses weingeistigen Gemisches $\frac{P+p'}{P+p} = \frac{27{,}3}{30{,}65} = 0{,}8907$.

Das Gewichts-Aräometer kann auch als Wage benutzt werden. Man senkt es zu dem Ende in eine beliebige Flüssigkeit, und sieht zu, wie viel Gewichtstheile aufgelegt werden müssen, bis der Punct *t* im Niveau einspielt. Man bringt sodann den abzuwiegenden Körper in die Schale, und nimmt von den Gewichten so viel heraus, als nöthig ist, damit der Punct *t* wieder einspielt. Das gesuchte Gewicht ist hierdurch gefunden.

Wenn der untere Theil der Senkwage die Form einer Schale erhält, so lässt sich damit auch der Gewichtsverlust bestimmen, den ein darauf abgewogener Körper im Wasser erfährt. Man trägt ihn zu diesem Zwecke aus der oberen in die untere, unter Wasser befindliche Schale, und sieht, wie viele Gewichtstheile hierauf zugelegt werden müssen. Sie geben unmittelbar das Gewicht eines dem des Körpers gleichen Volums Wasser. Diese Verbesserung hat Nicholson an dem Instrumente angebracht.

180. Ein schwimmender Körper von unveränderlichem Gewichte sinkt in ungleich dichten Flüssigkeiten zu ungleicher Tiefe ein; jedoch die Volume der Flüssigkeiten, welche er in diesen verschiedenen Fällen verdrängt, besitzen sämmtlich gleiches Gewicht, nämlich das des schwimmenden Körpers. Dieser Körper sey ein hohler Cylinder von Glas (Fig. 38.), dessen unteres Ende man durch Eingiessen von Quecksilber hinreichend beschwert hat, um ihn in lothrechter Stellung schwimmend zu erhalten. Dieses cylindrische Rohr sey von unten herauf in 200 gleiche Abtheilungen getheilt; in reinem Wasser sinke es bis zu dem Theilstriche 100 ein, in einer andern Flüssigkeit bis zu dem Theilstriche 80, in einer dritten bis zu 150, so folgt, dass 100 Volumtheile Wasser so viel wiegen wie 80 Volumtheile der zweiten, oder wie 150 Volumtheile der dritten Flüssigkeit. Setzen wir das Gewicht von 100 Theilen Wasser = 1; 80 Theile der zweiten Flüssigkeit wiegen auch = 1; 100 Volumtheile derselben müssen $\frac{100}{80} = 1{,}25$ wiegen. Ebenso ergibt sich das Gewicht von 100 Volumtheilen, d. h. das specifische Gewicht der dritten Flüssigkeit $= \frac{100}{150} = 0{,}667$.

Fig. 38.

Mittelst der beschriebenen einfachen Vorrichtung findet man also durch blosses Ablesen die ungleichen Volumina verschiedener Flüssigkeiten, welche gleiches Gewicht besitzen, und durch eine leichte Division der abgelesenen Zahlen in 100, die specifischen Gewichte derselben Flüssigkeiten. Gay-Lüssac hat diesem Apparate, dessen Erfinder er ist, den Namen Volumetre gegeben. Das Volumeter bildet die einfachste und zugleich rationellste Art der in der praktischen Physik höchst wichtigen Instrumente, die unter dem Namen Scalen-Aräometer, oder auch schlechthin Aräometer bekannt sind.

Volumter in der Gestalt eines Glascylinders, wenn sie einen ziemlichen Grad von Empfindlichkeit, d. h. einen nur geringen Durchmesser besitzen sollen, sind unbequem im Gebrauche und für die Bedingung grosser Genauigkeit sogar sehr schwierig ausführbar. Man pflegt daher nur zu dem oberen Theile des Instrumentes, so weit die Scale reichen soll, ein dünnes cylindrisches Rohr zu nehmen, den unteren Theil aber weiter und kürzer zu machen, ungefähr so wie Fig. 39. es zeigt. Der weite Abstand der mit Quecksilber gefüllten Kugel vom Bauche des Glasgefässes ist nothwendig, damit es, selbst wenn der ganze cylindrische Theil aus der Flüssigkeit hervortreten sollte, in senkrechter Stellung schwimmen kann. Im Uebrigen wird die so veränderte Vorrichtung wie das cylindrische Rohr gebraucht. Man denke sich z. B. vom unteren Ende an gerechnet bis zum Puncte 100, bis zu welchem das Aräometer in reinem Wasser von 16° Temperatur einsinkt, den ganzen Raum in 100 Abtheilungen gebracht; 50 von diesen Abtheilungen kommen auf den oberen cylindrischen Theil, die andern 50 auf den unteren nicht cylindrischen Körper. Das so eingerichtete Werkzeug würde dienen können, um Flüssigkeiten zu wiegen von der Schwere des Wassers bis zur doppelten Dichtigkeit desselben. Wie verfährt man aber, um den Theilstrich 50, welcher das Instrument in zwei gleiche Volumtheile scheidet, ausfindig zu machen, oder wie überzeugt man sich bei einem bereits fertigen Volumeter, ob es richtig getheilt ist? — Zu dem Ende bedarf man, ausser dem reinen Wasser, noch einer zweiten Flüssigkeit von genau bekannter Dichtigkeit.

Fig. 39.

Concentrirte Schwefelsäure, wegen ihres grossen specifischen Gewichtes und wegen der Leichtigkeit, sie immer von derselben Dichtigkeit zu erhalten, ist besonders hierzu geeignet. Das specifische Gewicht dieser Säure ist 1,85; folglich ihr Volumetergrad $\frac{100}{1,85} = 54$. Das Volumeter muss in concentrirter Schwefelsäure bis zum Theilstrich 54 einsinken, oder zwischen diesem Puncte und dem Einsenkungspuncte in reinem Wasser müssen $100 - 54 = 46$ gleiche Abtheilungen liegen. Diese Theilung kann nun nach Befinden auch über 100 oder unter 54 fortgesetzt werden. Gesetzt, die zweite Prüfungsflüssigkeit entspricht nicht einem ganzen Volumetergrade. Man habe z. B. Schwefelsäure von 1,5 specifischem Gewichte angewendet. Von dieser Säure sind $\frac{110}{1,5}$ oder 66,7 Raumtheile an Gewicht gleich 100 Theilen Wasser. In diesem Falle bemerke man, wie vorher, die beiden Einsenkungspuncte am Halse des Instrumentes, und messe ihren Abstand von einander mit dem Zirkel; man findet z. B. 51 Linien. Wie viele Linien der Theilstrich 50 von 100 entfernt ist, lässt sich hieraus durch Rechnung finden, indem man die Proportion setzt:

$$(100 - 66,7) : (100 - 50) = 51 : x; \text{ es ist } x = 76,6 \text{ Linien.}$$

Es gibt noch andere Mittel, das Volumeter zu graduiren oder auf seine Richtigkeit zu prüfen; das angeführte ist das einfachste und praktisch am leichtesten ausführbare.

Die Unterabtheilungen der Scale werden am besten auf dem Glasrohre selbst angebracht; meistens begnügt man sich jedoch damit, dieselben auf einem Papierstreifen aufzutragen, welchen man sodann, mit der eingetheilten Seite nach Aussen, in das Rohr so einschiebt, dass die durch direkte Beobachtung gefundenen und auf dem Rohre bemerkten Puncte mit den entsprechenden der Papierscala zusammenfallen. Damit sich das Papier später nicht mehr verschieben kann, wird es mit etwas Siegellack an das Glasrohr befestigt und zuletzt das obere offne Ende des letzteren zugeschmolzen.

Sollen mit dem Volumeter auch solche Flüssigkeiten geprüft werden, die leichter sind als Wasser, d. h. in welchen es tiefer einsinkt, so müsste der cylindrische Stiel über den Theilstrich 100 hinaus genügend verlängert werden.

Alsdann tritt aber sehr leicht der Uebelstand ein, dass der cylindrische Theil zu lang wird und das Werkzeug sich nicht mehr bei allen Einsenkungen lothrecht stellt. Aus diesem Grunde ist es in der Regel zweckmässiger, für leichtere Flüssigkeiten ein besonderes Volumeter anzuwenden, das so eingerichtet seyn muss, dass der Theilstrich 100, der Einsenkungspunct in reinem Wasser von 16°, sich am unteren Ende des Halses befindet, d. h. dass der ganze tiefer liegende Körper 100 Abtheilungen entspricht. Aufwärts wird dann fortgezählt 101, 102, 103 u. s. w. Je nach dem Grade der Genauigkeit, den man zu erstreben wünscht, kann man den ganzen Umfang von den schwersten bis zu den leichtesten Flüssigkeiten auch auf 3, 4 und mehr verschiedene Werkzeuge vertheilen, welche sämmtlich nach ganz ähnlichen Grundsätzen eingetheilt sind, und zusammengenommen gleichsam ein sehr langes cylindrisches Rohr vorstellen. In den meisten Fällen wird man jedoch mit zweien, einem für Flüssigkeiten, die schwerer, und einem für solche, die leichter sind als Wasser, ausreichen.

Wiewohl man aus den Anzeigen des Volumeters durch eine sehr einfache Rechnung zum specifischen Gewichte übergehen kann, so hat man es doch für bequem gehalten, Aräometer so zu graduiren, dass sich die specifischen Gewichte der geprüften Flüssigkeiten unmittelbar ablesen lassen. Dergleichen Vorrichtungen werden Dichtigkeitsmesser genannt. Sie sind nie viel in Gebrauch gekommen. Ausführlicheres über diese Instrumente findet man im Handwörterbuch der Chemie, Artikel Aräometer.

Auch das Volumeter ist in der Praxis bei weitem so verbreitet nicht, als es die Einfachheit und Zweckmässigkeit seiner Einrichtung, so wie die Leichtigkeit, es auszuführen oder zu prüfen, verdiente. Fast allgemein bedient man sich statt seiner der Aräometer von Beaumé, Cartier, Beck und Anderer. Diese verschiedenen Werkzeuge unterscheiden sich in der Form nicht von dem Volumeter, und sind, wie dieses, in gleiche Grade getheilt. Aber ihre Theilung beruht auf keiner wissenschaftlichen Grundlage; sie ist willkührlich gewählt und desshalb schwieriger zu controliren.

Von Beaumé hat man ein Aräometer für schwere und ein anderes für leichte Flüssigkeiten, welche nicht mit einander correspondiren. Bei dem ersteren ist der Einsenkungspunct in reinem Wasser von 14° R. mit 0 bezeichnet, und gewöhnlich nimmt man an, dass es in concentrirter Schwefelsäure bis zu dem Grade 66 einsinken soll. Man findet jedoch selten, dass Beaumé'sche Aräometer aus verschiedenen Werkstätten genau übereinstimmen. Bei dem Aräometer für leichte Flüssigkeiten gilt als 0 Punct der Scala die Stelle, bis zu welcher es in einem Gemische von 9 Th. Wasser und 1 Th. Kochsalz einsinkt; der Punct des reinen Wassers von 14° R. ist dann mit 10 bezeichnet, und in dieser Art die Theilung in immer gleich grossen Graden fortgeführt.

Das Aräometer Cartier ist nur für leichte Flüssigkeiten bestimmt und eine Nachahmung des vorhergehenden. Der Grad 22 stimmt bei beiden überein, und von diesem aus ist nach beiden Seiten hin der Raum von je 16° B. (Beaumé) in 15° C. (Cartier) getheilt.

Das Aräometer Beck ist ebenfalls eine Nachahmung des von Beaumé, und besteht, wie dieses, aus zwei Abtheilungen. Die Scala des für leichte Flüssigkeiten bestimmten Instrumentes ist die Fortsetzung, gleichsam die Verlängerung der Scala für schwere Flüssigkeiten, und hierin liegt der hauptsächlichste Unterschied zwischen dem Aräometer Beck und dem Aräometer Beaumé.

Da diese drei Aräometer mit willkührlicher Scala in Schriften häufig angeführt und in den Gewerben noch immer viel angewendet werden, so muss man sie kennen, und insbesondere ist es oft nothwendig zu wissen, welchen specifischen Gewichten ihre Anzeigen entsprechen. Tafel X. gibt darüber die erforderliche Auskunft.

Ausser den bisher beschriebenen Aräometern gibt es noch eine andere Art hierher gehöriger Instrumente, welche sich nur zur Prüfung einzelner Flüssigkeiten eignen, deren Gehalt an irgend einem darin aufgelösten Stoffe sie z. B. nach Procenten angeben. Daher der Name Procenten - Aräometer. Alle

unter den Namen: Alkoholometer, Branntweinwage, Wein- und Biermesser, Salzspindeln, Säurenmesser, Laugenwagen, Milchmesser, Zuckermesser u. s. w. bekannten Instrumente gehören zu dieser Klasse. Ihre Anwendung gründet sich stets auf eine vorausgegangene Vergleichung des specifischen Gewichtes einer Flüssigkeit von gewisser Temperatur mit ihrem Gehalte an Weingeist oder Salz oder Säure u. s. w. bei verschiedenen Graden der Concentration. An die Stelle der durch Beobachtung ermittelten specifischen Gewichten wird dann der procentische Gehalt selbst an der Scala bemerkt.

Die vergleichende Untersuchung, welche einer solchen Graduirung nothwendig vorausgehen muss, ist jedoch nicht leicht auszuführen. Sie erfordert eine Auflösung, welche von dem aufgelösten Stoffe fremdartigen Bestandtheilen ganz frei ist, eine Temperatur, welche für alle anzustellenden Versuche dieselbe bleibt, und streng genommen, für jedes besondere Mischungsverhältniss, das auf der Scala verzeichnet werden soll, einen besonderen Versuch. Denn die Erfahrung lehrt, dass die Dichtigkeit einer Auflösung mit ihrem procentischen Gehalte gewöhnlich in keinem regelmässigen Verhältnisse fortschreitet. So weiss man z. B., dass die doppelte, dreifache, vierfache Menge Weingeist, welche der einfachen Menge Wasser beigemischt wird, nicht auch eine verhältnissmässige Verminderung der Dichtigkeit zur Folge hat, sondern dass sich die letztere nach einem ganz anderen und ganz unregelmässigen Gesetze verändert. Man begreift hiernach, dass die Aräometergrade, welche gleiche Zu- oder Abnahme in der Stärke einer Auflösung angeben, nicht nach einem im Voraus zu bestimmenden Gesetze auf einander folgen, und also nur durch eine grosse Reihe sehr sorgfältig angestellter Versuche aufgefunden werden können. Dergleichen Versuche sind bis jetzt nur für Gemische von Weingeist und Wasser auf eine allen Anforderungen genügende Weise ausgeführt worden. Auch haben nur solche Procenten-Aräometer, welche zur Prüfung des Gehaltes von Weingeist und Branntweinen dienen, in der Praxis einen allgemeineren Beifall gewonnen. Die Lehre, den Werth geistiger Flüssigkeiten mittelst eines Aräometers zu prüfen, führt den Namen Alkoholometrie.

In Deutschland gebraucht man hauptsächlich das Alkoholometer von Tralles.

Tralles hat im Jahre 1811 im Auftrage der preussischen Regierung eine sehr umfangreiche alkoholometrische Arbeit ausgeführt, welcher er die schon im Jahre 1794 bekannt gewordenen Gilpin'schen Wägungen weingeistiger Gemische zu Grunde legte. Gilpin bestimmte das specifische Gewicht von 40 Alkoholmischungen, die er durch Zusammenbringen von abgewogenen Mengen Wassers mit abgewogenen Mengen eines Alkohols von 0,825 specifischem Gewichte erhalten hatte, jede nach und nach bei 15 verschiedenen Temperaturen, nämlich für jeden 5. Grad zwischen 30° bis 100° F., so dass also die Gesammtzahl seiner Bestimmungen 600 beträgt. Diese Daten wurden von Tralles noch durch das specifische Gewicht des wasserfreien Alkohols vermehrt, welches er bei der Temperatur von 60° F. zu 0,7939 fand, wenn das specifische Gewicht des Wassers beim Puncte seiner grössten Dichtigkeit als Einheit angenommen wurde. Tralles zeigte zugleich, dass Gilpin's Normalalkohol, der bei 60° F. und auf Wasser von gleicher Temperatur bezogen, das specifische Gewicht 0,825 hatte, nur 89,2 Gewichtsprocente wasserfreien Alkohol enthielt.

Nach diesen Angaben hat Tralles eine Tabelle berechnet, mittelst der man aus dem bekannten specifischen Gewichte eines Weingeistes bei 60° F. (= 12°,44 R. = 15°,55 C.), dessen Gehalt an wasserfreiem Alkohol in Volumprocenten erfährt. (Siehe Taf. XI, 1.). Findet sich das specifische Gewicht eines geistigen Gemisches nicht unmittelbar in dieser Tafel, so lässt sich sein Gehalt mit Hülfe der in der dritten Columne gegebenen Unterschiede auf folgende Art berechnen: Es sey z. B. 9260 das beob-

achtete specifische Gewicht. Die nächst höhere Zahl, welche sich in der Tafel vorfindet, ist 9275 und entspricht 53 Procent; die nächst kleinere Zahl, 9254, entspricht 54 Procent. Der Unterschied 9275—9254 beträgt 21, der Unterschied 9275—9260 aber nur 15. Wenn nun eine Verminderung des specifischen Gewichtes um 21 Theile einer Erhöhung des Alkoholgehaltes von 1 Volumprocent gleichkommt, so wird eine Verminderung von nur 15 Theilen einer Vermehrung des Alkoholgehaltes von nur $^{15}/_{21} = 0{,}71$ Volumprocent entsprechen. Jenes Gemisch von 9260 Gewicht enthält also 53,71 Volumprocent Alkohol.

Aus dieser Tafel kann man auch, wenn das specifische Gewicht eines Weingeistes bekannt ist, den Alkoholgehalt desselben in Gewichtsprocenten finden. Z. B. die specifische Gewichtszahl 9260 sagt: dass ein Volum dieses Weingeistes 9260 wiege; 100 Volume desselben werden folglich 926000 wiegen. Ein Volum wasserfreier Alkohol wiegt 7939; 53,71 Volume wasserfreien Alkohols müssen also das Gewicht $7939 \times 53{,}71 = 426404$ besitzen. Es bleibt daher nur die Frage zu lösen: Wenn 926000 Gewichtstheile Weingeist 426404 Gewichtstheile reinen Alkohol enthalten, wie viel wird in 100 Pfund desselben Weingeistes enthalten seyn? Man findet 46 Pfund; der Rest von 54 Pfund ist Wasser.

Durch eine Rechnungsweise, welche die umgekehrte der hier angegebenen ist, hat Tralles aus der ursprünglich nur nach Gewichtstheilen bekannten Zusammensetzung der alkoholischen Gemische den Gehalt derselben in Volumprocenten abgeleitet und auf diesem Wege No. 1. der angehängten alkoholometrischen Tafeln entworfen.

Der Gebrauch dieser Tafel beschränkt sich jedoch auf die Temperatur von 60 ° F. der zu prüfenden Flüssigkeit. In Fällen, wo ein Weingeist diese Temperatur nicht besitzt, lässt sich sein Werth vermittelst der zweiten oder dritten Tabelle bestimmen. In dieser Tabelle sind für jeden 5ten Grad der Fahrenheit'schen Scala die Veränderungen ausgedrückt, welche das specifische Gewicht eines Weingeistes bei diesen Temperaturen erfährt; und zwar sind diese specifischen Gewichte so angegeben, wie man sie durch Wägung der Flüssigkeiten in einem Glasgefässe, oder durch Einsenkung eines Glas-Aräometers in dieselbe findet, d. h. ohne die Ausdehnung oder Zusammenziehung zu beachten, welche das Glas durch die Temperaturveränderung erleidet. Der Grund dieser Vernachlässigung ist: um bei den Branntweinproben ebenso verfahren zu dürfen, d. h. der Nothwendigkeit überhoben zu seyn, die kleinen Umfangsveränderungen des Aräometers, die eine Folge des Temperaturwechsels sind, in Rechnung zu ziehen.

Beide Tafeln, No. 2. und No. 3., unterscheiden sich dadurch von einander, dass man aus No. 2. erfährt: wie viel Maas absoluten Alkohols von 60° F. ein weingeistiges Gemisch, wenn

es bis zu 60° F. oder 12°,5 R. erwärmt oder abgekühlt würde, auf je 100 Maas enthalten müsste; während dagegen No. 3. angibt: wie viel Maas absoluten Alkohols von 60° F. in je 100 Maas eines Weingeistes, bei der Temperatur, wobei man sein specifisches Gewicht genommen hat, wirklich enthalten sind. Mit Hülfe der einen Tafel bestimmt man das, was die Stärke einer geistigen Flüssigkeit genannt wird, mit Hülfe der anderen ihren wahren Alkoholgehalt, bezogen auf die Normaltemperatur von 60° F. Z. B. der Branntweinfabrikant, welcher seine Waare zu irgend einem Grade der Stärke liefern, oder nach seiner Stärke versteuern muss, prüft hierauf mittelst der zweiten Tafel. Handelt es sich aber darum, von irgend einem Quantum Weingeist, dessen Temperatur von der von 60° abweicht, den wirklichen Werth zu erfahren, so gibt Tafel 3. die verlangte Auskunft.

Der Unterschied beider Tafeln ist indessen mehr theoretisch interessant, als von grosser Bedeutung für die Praxis; denn die Vernachlässigung desselben kann nur bei concentrirtem Spiritus, und selbst dann nur bei Abweichungen von mehr als 10° F. von der Normaltemperatur von 60° F. zu einem Fehler führen, der ½ Volumprocent übersteigt.

Der Gebrauch dieser Tafeln ist übrigens leicht verständlich und ganz ähnlich dem der ersten Tafel, nur dass die dort schon angedeuteten Zwischenrechnungen hier noch weit häufiger vorkommen und auch von grösserer Wichtigkeit sind. Solche Rechnungen, wenn auch ohne Schwierigkeit ausführbar, werden gleichwohl, sobald sie sich häufig wiederholen, unbequem. Auf die Grundlage der zweiten Tafel hat daher der auch als Schriftsteller rühmlichst bekannte Mechanikus Dr. Körner in Jena noch eine vierte berechnet, welche die Stärke spirituöser Flüssigkeiten unmittelbar, und zwar mit einer wenigstens für die meisten Zwecke der Praxis zureichenden Genauigkeit anzeigt, und in welcher sich überdies die Temperaturangaben auf die in den Gewerben am meisten verbreitete Réaumür'sche Scala beziehen.

Die mittelste, mit Normaltemperatur von 12°,5 R. überschriebene Abtheilung der 4. Tabelle correspondirt mit Tafel 1. Sie enthält in der ersten Spalte die specifischen Gewichte weingeistiger Flüssigkeiten von verschiedener Stärke; den entsprechenden Gehalt an absolutem Alkohol gibt die zweite Spalte in Volumprocenten, die dritte in Gewichtsprocenten an.

Bei jeder Temperatur über oder unter 12°,5 R. ändert sich das specifische Gewicht des Weingeistes; der dieser veränderten Dichtigkeit entsprechende, scheinbare, d. h. ohne Berücksichtigung des Temperaturwechsels sich ergebende Gehalt in Volumprocenten findet sich, wenn man in der wagerechten Linie bis zu

der mit dem veränderten Temperaturgrade bezeichneten Spalte übergeht. Der Gebrauch der Tabelle ist nunmehr leicht einzusehen. Man hat z. B. bei der Temperatur von 17 ° R. das specifische Gewicht einer spirituösen Flüssigkeit gleich 9254 gefunden; dieser Dichtigkeit entsprechen 54 Volumprocente; da dies jedoch nur ein scheinbarer Gehalt ist, so suche man die Zahl 54 in der mit 17° R. überschriebenen Spalte, und fahre von der Stelle, wo sie sich vorfindet, in wagerechter Richtung bis zur Spalte der wahren Volumprocente; man findet dann, dass der wirkliche Gehalt der geprüften Flüssigkeit nur 52 Procent beträgt. Wäre die Beobachtungstemperatur nicht 17 ° R., sondern 20 ° R. gewesen, so würde sich 54 in der entsprechenden Spalte nicht vorfinden; die nächst grössere Zahl 54,4, welcher der wahre procentische Gehalt von 51 zugehört, ist um 0,4 zu gross; die wirkliche Stärke der geprüften Flüssigkeit beträgt folglich 50,6 Volumprocent.

Der Zweck der dritten Spalte der mittelsten Abtheilung, welche die wahren Gewichtsprocente enthält, wird ebenfalls durch ein Beispiel am deutlichsten werden. Es sollen mit Hülfe eines 75grädigen Weingeistes durch Zusatz von Wasser 20 Maas eines Weingeistes bereitet werden, der eine Stärke von nur 45 Grad besitzt. Nun ersieht man aus der Tabelle, dass 100 Grm. des 75grädigen Weingeistes 67,95 Grm. absoluten Alkohol und 32,05 Grm. Wasser, 100 Grm. des 45grädigen aber 37,89 Grm. Alkohol enthalten. 37,89 Grm. Alkohol sind mit 62,11 Wasser verbunden; auf 67,95 Grm. Alkohol, um daraus 45grädigen Weingeist zu machen, kommen folglich $\frac{62,11.\ 67,95}{37,89} = 111,38$ Wasser; mit diesen 67,95 Grm. Alkohol sind aber bereits 32,05 Wasser zu 100 Theilen 75grädigem Weingeist verbunden, müssen also noch 79,33 Grm. zugesetzt werden. 79,3 Grm. Wasser sind eben so viele Cub. Cent. — 1 C. C. Spiritus von 75 ° wiegt 0,8765 Grm.; 100 Grm. desselben sind mithin $\frac{100}{0,8765} = 114,1$ C. C., welche, mit 79,3 C. C. Wasser vermischt, 193,4 C. C. Weingeist von 45° geben. Es bleibt somit nur noch die Frage zu lösen: Wenn 193,4 Maastheile dieser verdünnten Mischung 114,1 Maastheile Spiritus von 75 ° enthalten, wie viel kommt auf 20 Maas? Man findet $\frac{114,1.\ 20}{193,4} = 11,8$ Maas.

Eine Tabelle der Gewichtsprocente ist zu allen derartigen Berechnungen desshalb nothwendig, weil der Wassergehalt geistiger Flüssigkeiten aus dem in Volumprocenten bekannten Alkoholgehalt derselben nicht unmittelbar ersichtlich ist.

Die vier im Vorhergehenden erläuterten alkoholometrischen Tafeln sind nur anwendbar, wenn das specifische Gewicht der Flüssigkeit bereits gefunden ist; mag dies nun direkt mittelst des

Dichtigkeitsmessers, oder mittelst des Volummessers und einer leichten Division, oder endlich durch ein Aräometer mit willkührlicher Scala und Benutzung der Tafel XI. geschehen seyn.

Um die Prüfung weingeistiger Flüssigkeiten noch mehr zu erleichtern, hat man die für die Normaltemperatur von 12°,5 R. geltende Tabelle des procentischen Gehaltes an Alkohol auf dem Aräometer selbst aufgetragen, und zwar findet man gewöhnlich die Tafel für die Volumprocente mit derjenigen für die Gewichtsprocente auf demselben Instrumente neben einander, dergestalt dass man die Stärke eines Weingeistes durch blosses Eintauchen dieses Alkoholometers unmittelbar erfährt. Die Scala der Volumprocente wird gewöhnlich nach Tralles, die der Gewichtsprocente nach Richter genannt, weil Richter der Erste war, welcher versucht hat, die Stärke des Weingeistes durch ein Aräometer und nach Hunderttheilen des Gewichtes zu bestimmen.

Die Einrichtung beider Alkoholometerscalen gründet sich auf den Satz, dass die Dichtigkeiten verschiedener Flüssigkeiten sich verhalten umgekehrt wie die Räume, welche das eintauchende Alkoholometer verdrängt. Nennen wir z. B. das specifische Gewicht des Wassers bei seiner grössten Dichte = 1; das Volum dieser Flüssigkeit, welches das eintauchende Alkoholometer verdrängt = 10000. Bei 13°,5 R. vermindert sich sein specifisches Gewicht auf 0,9991, und es werden jetzt von demselben Instrumente $\frac{10000}{0,9991}$ = 10009 Raumtheile verdrängt werden. In einem 60grädigen Weingeiste, dessen specifisches Gewicht = 0,9126 ist, werden $\frac{10000}{0,9126}$ = 10957 Raumtheile, in einem 90grädigen $\frac{10000}{0,8332}$ = 12002 Raumtheile verdrängt werden u. s. w. Bezeichnet man nun den Einsenkungspunct in Wasser von 12,°5 R. mit 0, den Einsenkungspunct im 60grädigen Weingeiste mit 60, und nennt man den Abstand von 0 bis 60 = 948 (nämlich 957 — 9), so wird man durch Auftragung von 2002 — 9 solcher Theile vom 0 Punct aus den Einsenkungspunct für 90grädigen Weingeist finden. Auf ähnliche Art bestimmt man alle übrigen Puncte der Scala, vorausgesetzt, dass das Glasrohr cylindrisch ist, oder doch die etwa darauf vorkommenden Unebenheiten die Gränze von $\frac{1}{20}$ des Durchmessers nicht übersteigen. Es ist eben so leicht, auch nur ein Stück der Scala zu graduiren, wenn man z. B. Probeflüssigkeiten von 32 und 80 Procent Alkohol hat, die Einsenkungspuncte des Instrumentes in denselben bemerkt und dann nach ihrem absoluten Abstande die Abstände der übrigen Gradestriche berechnet und aufträgt. Um diese Operation zu erleichtern, hat Tralles die relativen Abstände sämmtlicher Grade im Voraus berechnet und in einer Tabelle zusammengestellt (Tafel 5.), deren Gebrauch nunmehr keiner wei-

teren Erklärung bedarf. Diese Tafel bietet besonders grosse Bequemlichkeit, um ein bereits fertiges Instrument auf seine Richtigkeit zu prüfen. Zu dem Ende greife man z. B. den Abstand von 0—60° mit dem Zirkel; angenommen, man findet 27 Linien; nun ist der relative Abstand von 0—60, 948; der relative Abstand von 0—90 aber 1993; es ist ferner 948 : 1993 = 27: (x = 56,7); der wirkliche Abstand von 0—90° muss folglich 56,7‴ betragen.

Vermittelst eines mit dem Alkoholometer verbundenen Thermometers lassen sich auch die Abweichungen von der Normaltemperatur ohne Rechnung berichtigen. An diesem kleinen Thermometer ist die Normaltemperatur von 12°,5 R. oder 60° F. gewöhnlich mit 0 bezeichnet, und je ein Theilstrich auf oder ab bedeutet 5° F. Diese Eintheilung gründet sich auf die Wahrnehmung, dass eine Abweichung von 5° F. oder 2°,22 R. von der Normaltemperatur auf die Dichtigkeit des Weingeistes ungefähr denselben Einfluss hat, wie eine Verschiedenheit von 1 Volumprocent des Alkoholgehaltes. Findet man demnach, dass während der Prüfung eines Weingeistes das Quecksilber z. B. 3 Theilstriche über 0 steht, so muss von dem beobachteten Grade 3 abgezogen werden; stand dagegen das Quecksilber 3 Theilstriche unter 0, so hätte dieselbe Zahl dem beobachteten Grade zugefügt werden müssen. Dieses Verfahren ist zwar nicht ganz genau; bei weingeistigen Mischungen von mittlerer Stärke wird man jedoch durch Anwendung desselben keinen Irrthum von mehr als 2, höchstens 3 Zehntel eines Volumprocentes begehen.

Gay-Lüssac's hunderttheiliges Aräometer hat eine ganz ähnliche Einrichtung wie das Aräometer von Tralles. Auch dieses Instrument gibt den Gehalt des Weingeistes in Volumprocenten, und zwar für die Normaltemperatur von 12° R.

Das Aräometer wird häufig mit Vortheil angewendet, um aus dem specifischen Gewichte verdünnter Säuren und Alkalien den wahren Werth derselben zu bestimmen. Mehrere zu dergleichen Bestimmungen gebräuchliche Tabellen sind unter Tafel XII. zusammengestellt, und ohne weitere Erklärung verständlich. Auch diese Tabellen findet man zuweilen auf den Aräometern selbst aufgetragen. *)

Zu welchem Zwecke ein Aräometer benutzt werden mag, so sind beim Gebrauche desselben einige Vorsichtsmaasregeln zu berücksichtigen, ohne die man auf keine richtigen Resultate rechnen darf. Das Gefäss, in welches die zu prüfende Flüssigkeit gebracht wird, muss wo möglich von hellem Glase, hoch und geräumig genug seyn, dass das Aräometer frei darin spielen kann.

---

*) Vorschriften zur Verfertigung sämmtlicher Arten von Aräometern finden sich in: Anleitung zur Bearbeitung des Glases an der Lampe von Dr. F. Körner. Jena, bei August Schmid.

Der Hals des Instrumentes muss bis zum Einsenkungspuncte benetzt seyn, oder, was dasselbe bedeutet, die Flüssigkeit, worin es schwimmt, muss sich rund um den Hals, gerade so wie an den Wänden der Gefässe, hinaufziehen, weil, wenn dies nicht der Fall ist, es nicht tief genug einsinkt. Man muss daher Sorge tragen, den Stiel immer rein zu erhalten und besonders vor dem Gebrauche ihn nicht mit fettigen Händen anfassen. Das Aräometer darf aber auch nicht über den Einsenkungspunct hinaus nass werden, wie es z. B. geschehen wird, wenn man, anstatt dasselbe vorsichtig in die Flüssigkeit zu senken, es hinein fallen lässt; denn durch das über jenem Puncte anhängende Wasser wird das Gewicht des Werkzeugs und folglich auch die Tiefe, zu welcher es einsinkt, vergrössert.

Beim Ablesen des Grades muss man das Auge zuerst tiefer halten und dann so weit erheben, dass der untere Spiegel der Flüssigkeit eben verschwindet. Es ist dies das zuverlässigste Mittel, den Einsenkungspunct richtig zu finden.

Von der Capillarität oder den Wirkungen der Harröhrchenkraft.

181. Die Theile an der Oberfläche einer flüssigen Masse können nie denselben Grad der Verschiebbarkeit besitzen als die inneren Theile, weil sie nicht wie diese, nach jeder Richtung hinder Wirksamkeit gleicher Kräfte ausgesetzt sind. Sie folgen daher äusseren Eindrücken nicht ganz ohne Widerstand, zeigen vielmehr, wenn auch nur bis zu einer äusserst geringen Tiefe hin, unverkennbare Spuren eines gewissen Zusammenhangs. Sie bilden gleichsam eine sehr dünne Haut, welche die innere vollkommen flüssige Masse einschliesst, und welche durchbrochen werden muss, bevor ein Körper in der Flüssigkeit einsinken kann.

Irgend ein fester Körper, der vom Wasser benetzt wird und dadurch äusserlich die Beschaffenheit eines Wasserkörpers von gleichem Umfange annimmt, lässt sich unterhalb des Spiegels dieser Flüssigkeit durch die geringste Kraftäusserung nach jeder Richtung hin bewegen; es ist aber eine messbare Kraft erfoderlich, um ihn von der Oberfläche abzureissen. Berührt man Quecksilber oder Wasser mittelst eines Stabes, der nicht davon benetzt wird, so senkt sich die Oberfläche der Flüssigkeit nicht nur unmittelbar an der Berührungsstelle, sondern in bemerkbarer Entfernung rings um den Stab herum, ganz so wie die Oberfläche eines weichen elastischen Körpers. Nähnadeln die durch das Halten zwischen den Fingern etwas fettig und dadurch unbenetzbar sind, schwimmen auf dem Wasser. Quecksilber fliesst nicht durch Flor.

182. Die äusseren Theile einer tropfbaren Flüssigkeit widersetzen sich nicht nur der Verschiebung, sondern sie streben auch, aus der Stelle gerückt, in die frühere Lage zurückzutreten. Sie besitzen einen gewissen Grad von Elasticität.

Füllt man ein nur am Ende offenes Röhrchen von höchstens 3 Linien Durchmesser mit Wasser, und kehrt es dann um, so läuft die Flüssigkeit nicht aus; sie bildet eine hängende Ebne, aus der man mittelst eines benetzbaren Stäbchens einen Hügel hervorziehen kann, welcher nach dem Abreissen des Stäbchens

der Schwere entgegen sich in die Ebne zurückzieht. Der Grund ist, weil die Theile der dünnen, zusammenhängenden Schicht, welche die äusserste Oberfläche bildet, ähnlich wie die Theile einer Scheibe von elastischem Gummi durch jede Abweichung aus der Ebne, jede Biegung oder Krümmung in ein ungleiches Dichtigkeitsverhältniss treten müssen. Sie müssen näher zusammenrücken als die inneren Theile, wenn durch die Krümmung eine Höhlung oder Concavität entsteht; ihre Abstände von einander vergrössern sich dagegen, wenn die Krümmung nach Aussen hin, d. h. gegen die Leere, eine Wölbung oder Convexität bildet. Daher in beiden Fällen ein Bestreben, die ebene Oberfläche zu erhalten oder wieder anzunehmen, ähnlich wie ein elastischer Körper, den man biegt, sich wieder zu strecken sucht. .

183. Gekrümmte Oberfläche tropfbarer Flüssigkeiten, mag nun die Krümmung hohl oder gewölbt seyn, befinden sich in einem Zustande elastischer Spannung, und zeigen daher ein Bestreben, sich zu ebnen. Dieses Bestreben bewirkt an einem jeden Puncte der Krümmung einen Druck gegen den Mittelpunct derselben, der um so grösser ist, je grösser die elastische Spannung, wodurch er hervorgerufen wird, oder, was dasselbe sagt, je stärker die Biegung. Dieser Druck vermehrt sich also, wenn der Halbmesser des Krümmungsbogens kleiner wird.

184. Ein Tropfen Flüssigkeit ist ringsum von einer dünnen, bis zu einem gewissen Grade zusammenhängenden Schicht umgeben, deren Theile sich in einem elastisch gespannten Zustande befinden. Entsprechen nun verschiedene Stellen dieser gekrümmten Oberfläche Kugelabschnitten von ungleich grossen Krümmungshalbmessern, so muss auch an diesen verschiedenen Stellen ein ungleicher Druck nach Innen entstehen; der am stärksten gespannte Theil des Umfangs muss sich aufbiegen, so lange bis überall einerlei Krümmung und ein gleicher Spannungszustand eingetreten ist, d. h. bis der Tropfen die Gestalt einer Kugel angenommen hat.

Die Bildung kugelförmiger Tropfen vermöge eines gespannten Zustandes der Oberfläche lässt sich einsehen, ohne dass man nöthig hat, irgend eine von der inneren Masse ausgehende Anziehung zu Hülfe zu nehmen; eine Mitwirkung, deren Annahme überdiess durch die Erfahrung auf keine Weise gerechtfertigt wird, indem, wie man weiss, die gegenseitige Anziehung flüssiger Theile nur bei der Berührung, d. h. auf unmessbar geringe Entfernung hin, wirksam ist. Auch Luftblasen innerhalb einer flüssigen Masse nehmen die Kugelgestalt an, ungeachtet hier eine Anziehung, die vom Mittelpuncte der Kugel ausgeht, gar nicht denkbar ist. Sehr häufig erheben sich Luftblasen theilweise oder ganz über die Oberfläche einer Flüssigkeit, noch umgeben von der consistenteren, elastischen Haut, deren eigenthümliche Beschaffenheit sich übrigens am deutlichsten in der Seifenblase ausprägt.

185. Die Kraft, womit die Tropfen die kugelförmige Gestalt zu behaupten suchen, ist so gross, dass kleine Tropfen auf Flächen, welche sie nicht benetzen, z. B. Quecksilbertropfen auf Glasplatten oder Wassertropfen auf fettigen und mit Hexenmehl bestreuten, oder auch auf glühenden Metallflächen, sich ungeachtet des Widerstandes ihres Gewichtes nicht merklich abplatten. Grössere Tropfen verflächen sich zwar, und bei einem Durchmesser von 12—14 Par. Lin. verliert sich die Krümmung in der Mitte ganz. Die Masse wird

aber gleichwohl durch die Wirksamkeit des stark gebogenen Randes in kreisrunder Gestalt zusammengehalten. Versucht man, einen solchen abgeplatteten grossen Quecksilbertropfen zwischen zwei ebnen Glascheiben durch aufgelegte Gewichte noch weiter auszubreiten, so bemerkt man, dass derselbe einen bedeutenden und mit der Abplattung zunehmenden Widerstand leistet; nach Wegnahme der Gewichte stellt sich sogleich die frühere Gestalt wieder her.

Der Uebergang kleinerer Tropfen und Blasen in die grösseren, und überhaupt das Zusammenfliessen mehrerer Tropfen zu einem einzigen, beruht auf derselben Ursache.

186. Wenn die gegenseitige Anziehung der Theile einer Flüssigkeit beträchtlich grösser ist als ihre Adhäsion an den Seitenwänden der Gefässe, dergestalt dass letztere unbenetzt bleiben, so zeigt sich das Streben zur Tropfenbildung selbst bei den in Gefässen enthaltenen flüssigen Massen. Aus diesem Grunde steht z. B. das Quecksilber gewöhnlich von den Wänden der Glasgefässe ab, und seine Oberfläche verhält sich ähnlich wie ein auf eine ebne Glasplatte gegossener Quecksilbertropfen. In Gefässen von weniger als 12 Linien Durchmesser verbreitet sich diese vom Rande ausgehende Krümmung bis in die Mitte der Oberfläche, und es zeigt sich eine Erhebung des mittleren Theils über den Rand, der sogenannte convexe Meniskus. In engeren Gefässen und insbesondere in sehr engen Röhren erhält diese Erhebung mehr und mehr die Gestalt eines vollkommnen Kugelabschnittes, oder selbst, insofern die Adhäsion des Glases es nicht hindert, die einer Halbkugel. Der convexe Meniskus bewirkt einen Druck gegen die flüssige Masse, oder ein Streben, dieselbe nach jeder Richtung hin zu bewegen, von welcher ein gleicher Druck, z. B. durch eine gleich starke Krümmung hervorgebracht, nicht entgegensteht.

Lässt man einen Quecksilbertropfen in ein enges cylindrisches Rohr eintreten, so nimmt er die Gestalt eines an beiden Enden gleich stark abgerundeten Cylinders an, der bei wagerechter Stellung des Rohrs unbeweglich bleibt, dessen Seiten jedoch durch den von den gekrümmten Enden ausgehenden Druck wider die Wände des Glases gepresst werden.

Fig. 40.

Ist das wagerecht liegende Rohr, in welches das Quecksilber gebracht wurde, konisch, oder doch an einer Seite enger als an der andern, dergestalt dass die beiden Enden der Quecksilbersäule eine ungleiche Krümmung annehmen müssen (Fig. 40.), so beginnt eine Bewegung der Flüssigkeit von dem engeren Theile des Rohrs nach dem weiteren hin. Diese Bewegung dauert so lange fort, bis die flüssige Säule eine Stellung eingenommen hat, bei welcher ihre beiden Endflächen eine gleich starke Convexität annehmen können.

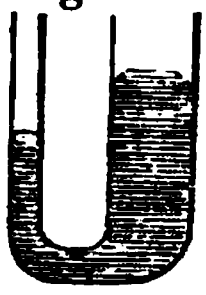


Fig. 41. Wird das aus zwei Theilen von ungleicher Weite zusammengesetzte Rohr heberförmig umgebogen, wie Fig. 41., und werden dann beide Schenkel mit dem flüssigen Metalle angefüllt, so muss dieses nach eingetretenem Gleichgewichtszustande in dem engeren Rohre niedriger stehen; aber ganz heraustreten, wie in dem wagerecht liegenden Rohre, kann es jetzt nicht, sondern es wird nur so lange sinken oder deprimirt werden, bis das Uebergewicht der niederdrükkenden Kraft oder der Unterschied der Wirksamkeit beider Convexitäten mit dem im weiteren Rohre sich bildenden grösseren hydrostatischen Drucke im Gleichgewichte steht.

Wenn der eine Schenkel so weit ist, dass der mittlere Theil der Oberfläche des enthaltenen Quecksilbers eine Ebne bildet, so kann von dieser Seite gar kein Niederdruck entstehen; der Höhenunterschied in beiden Röhren ist daher jetzt nur von der Stärke der Krümmung im engeren Rohre abhängig, und muss unter sonst gleichen Umständen um so beträchtlicher seyn, je geringer die Weite des engern Rohrs ist.

Da folglich dieses eigenthümliche Verhalten in den engsten Röhren, den sogenannten Haarröhrchen (Capillarröhrchen) am auffallendsten hervortritt, so hat man ihm den Namen Capillar-Senkung beigelegt, und umfasst die verschiedenen Aeusserungen der Molekularkräfte, worauf dieses Phaenomen beruht, unter dem Namen Haarröhrchenkraft oder Capillarität.

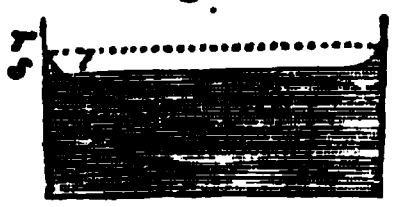
Die Grösse der niederdrückenden Kraft verhält sich wie die Stärke der elastischen Spannung an der Oberfläche, oder auch wie die Stärke der Krümmung. Da nun in verschiedenen, ungleich weiten Röhren, welche aber sämmtlich so eng sind, dass die Gestalt der gekrümmten Oberfläche von der Kugelform nicht merklich abweicht, die Halbmesser der Krümmungen sich verhalten müssen wie die Weiten der Röhren, so lässt sich voraussehen, dass in solchen engen Canälen die Capillarsenkungen, den Durchmessern im Innern nahezu, umgekehrt proportional seyn werden. So hat man z. B. gefunden, dass in einem Glasrohre von 1 Mllmetr. innerer Weite das Quecksilber um 4,9 Milmtr., bei 0,5 Mllmetr. innerer Weite um 9,8 Mllmtr. niedergedrückt wird. Dagegen in einem Rohre von 4 Mllmetr. Weite betrug die Senkung nur 0,84 Mllmetr., während dieselbe nach der angegebenen Regel $\frac{4,9}{4} = 1,2$ Mllmetr. hätte seyn müssen.

Die Capillarsenkung des Quecksilbers in Glasröhren von gleichem Durchmesser ist nicht immer gleich gross, weil die Adhäsion zwischen beiden Körpern und folglich auch die Gestalt der Quecksilberkuppe, je nach der Glätte des Glases, der Reinheit des flüssigen Metalls und der Trockenheit der Luft, eine veränderliche Stärke zeigt. Wenn das Quecksilber durch aufgelöstes Quecksilberoxyd verunreinigt ist, z. B. durch längeres Schütteln oder Erhitzen beim Zutritt der Luft, so wird es zähe flüssig, und dabei nimmt seine Anziehung zum Glase in dem Grade zu, dass sie dem Streben zur Kugelbildung zuweilen das Gleichgewicht hält; das Quecksilber erhält dann bis an die Röhrenwand hin eine ebne Oberfläche, und es findet gar keine Depression mehr statt.

187. Benetzte Gefässwände verhalten sich hinsichtlich ihrer Molekularwirkung gleichsam wie eine Fortsetzung der Flüssigkeit selbst. Wasser oder Weingeist wird daher von den Wänden eines

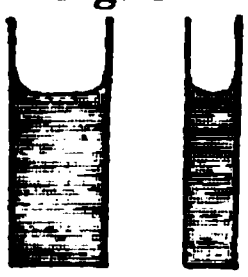
davon benetzten Glases mit einer der Cohäsion der flüssigen Theile unter einander ganz gleichen Kraft festgehalten, und wenn das Gefäss nicht ganz voll ist, an der Wand heraufgezogen (Fig. 42.). Dieser über den Spiegel in der Mitte des Gefässes gehobene Wasserrand *r s t* wird nur durch die Cohäsion seiner obersten Theile *r* getragen, welche ihrerseits durch die Adhäsion der Wand festgehalten werden. Eine und dieselbe Flüssigkeit hebt sich daher auf ganz gleiche Weise an den Oberflächen aller festen Körper, welche sie vollständig benetzt, d. h. zu welchen sie eine Anziehung besitzt, die wenigstens eben so gross ist als diejenige ihrer Theile unter einander.

Fig. 42.



188. Bei geringer Weite der Gefässe verbreiten sich die ringsum von den Wänden bewirkten Erhebungen bis über die Mitte hinaus, wodurch die ganze flüssige Oberfläche eine einwärts gebogene (concave) Gestalt annehmen muss. Es entsteht der sogenannte concave Meniskus (Fig. 43.), gleichsam ein Abschnitt von einer Blase. Seine Krümmung ist um so stärker, je enger das Gefäss ist, und in cylindrischen Röhren von 1 Linie Durchmesser und darunter erhält er die Gestalt einer hohlen Halbkugel.

Fig. 43.



Die flüssigen Theile, welche in der gekrümmten Oberfläche liegen, befinden sich in einem Zustande elastischer Spannung (183.), und äussern daher einen mit der Stärke der Biegung zunehmenden Druck gegen die Leere hin, ein Bestreben, sich aufzubiegen und die Leere auszufüllen. Allein an den benetzten Wänden bildet sich der concave Meniskus stets von Neuem. Die Folge ist ein Vorwärtsschreiten der Flüssigkeit. Wird z. B. ein wagerecht liegendes, enges und inwendig benetztes Glasrohr (Fig. 44.) in die Seitenwand eines Gefässes so eingesetzt, dass es mit dem Wasserspiegel in gleiche Höhe kommt, so wird die Flüssigkeit sogleich eingesogen, und bewegt sich dem Canale entlang bis an das Ende desselben, ohne jedoch auszulaufen, denn am Ende des Rohrs ebnet sich der Meniskus, und die Bewegung hört auf.

Fig. 44.

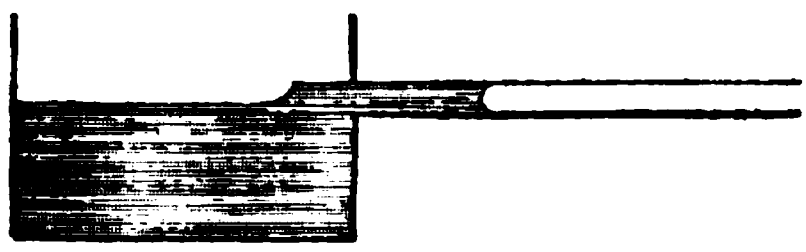
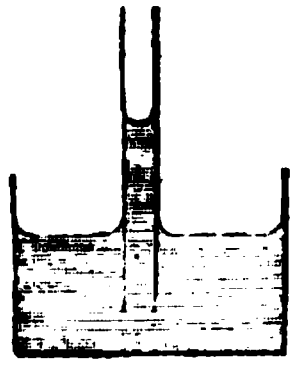


Fig. 45.



Taucht man das ganze Rohr senkrecht in die Flüssigkeit (Fig. 45.), so wird dieselbe auch jetzt eingesogen, bewegt sich aber bei genügender Länge des Rohrs nicht bis an das Ende desselben fort, sondern steigt nur so hoch, bis das Gewicht der gehobenen Säule mit der Cohäsionskraft, womit der oberste Rand des Meniskus von der benetzten Wand angezogen und festgehalten wird, im Gleichgewichte steht. Wenn das Rohr nicht so weit, als hierzu erforderlich ist, über

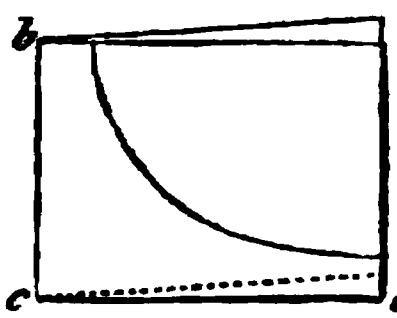
dem Wasserspiegel hervorragt, so erhebt sich die Flüssigkeit im Innern nur bis zu seinem Rande empor, und der Menikus verflächt sich, ohne jedoch jemals ganz eben werden zu können. Entfernt man das enge Rohr aus dem Wasser, so fliesst die enthaltene flüssige Säule nicht nur nicht aus, sondern kann sich sogar erhöhen, weil die Aktion des unten anhängenden Tropfens sich zu derjenigen des concaven Meniskus addirt.

Der Umkreis eines cylindrischen Rohrs und mit ihm die Anzahl der Puncte, durch deren Anziehkraft die gehobene Flüssigkeit getragen wird, vermindert sich wie der Durchmesser, das Gewicht der gehobenen flüssigen Säule aber vermindert sich wie das Quadrat des Durchmessers; in sehr engen Röhren, in welchen das Gewicht des Meniskus selbst unbeachtet bleiben kann, steht daher die Erhebung einer die Wände benetzenden Flüssigkeit im verkehrten Verhältniss zu der Röhrenweite. Da also auch diese Erscheinung in den Haarröhrchen besonders auffallend wird, so hat man ihr den Namen Capillar-Erhebung gegeben. Ueberhaupt ist es üblich geworden die ganze Klasse von Phänomenen, welche auf der Adhäsion fester zu tropfbar flüssigen Körpern und auf der zwischen den Theilen der letzteren stattfindenden gegenseitigen Anziehung beruhen, mit dem gemeinschaftlichen Ausdrucke Capillarität oder Capillar-Phänomene zu umfassen.

Nach Gay-Lüssac's Versuchen steigt reines Wasser von 10° Temperatur in Röhren von 1 Mllmetr. Durchmesser bis zur Höhe von 30 Mllmetr. In Röhren von $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{100}$ Mll. wird es folglich auf 60, auf 300 und auf 3000 Mllm. ansteigen. Die Capillar-Erhebung vermindert sich bei erhöhter Temperatur, und ist auch bei verschiedenen Flüssigkeiten ungleich. Z. B. Weingeist von 0,8196 spec. Gewicht und 8°,5 Temp. stieg nach Gay-Lüssac in einem Rohr von 1,29441 Mll. Durchmesser 9,18 Mll.; reines Wasser von derselben Temperatur und in demselben Rohr 23,16 Mllmetr. Die Weite der Cappillarröhren bestimmte Gay-Lüssac aus dem Gewichte des Quecksilbers, welches eine gemessene Länge derselben ausfüllte. (Biot traité de physique, I. 440. Auch Gehl. Wört. II. 47.)

Zwischen zwei ebnen Flächen, getrennt durch Metalldrähte von bekannter Dicke, steigt eine Flüssigkeit nur zur Hälfte der Höhe, welche sie in einem Rohr erreichen würde, dessen Durchmesser dem Abstande beider Ebnen von einander gleich ist. Im Zwischenraume zweier concentrischen Röhren hebt sich die Flüssigkeit zu derselben Höhe, wie zwischen zwei Ebnen von demselben winkelrechten Abstande.

Fig. 46.



Zwischen zwei lothrecht eingetauchten Ebnen, die einen Winkel bilden (Fig. 46.), steigt die Flüssigkeit nicht allenthalben zu gleicher Höhe. Beide Ebnen bilden gleichsam eine Reihe neben einander stehender Röhren, deren Weiten in geometrischem Verhältnisse zunehmen; die Höhe des Standes der Flüssigkeit vermindert sich aber im umgekehrten Verhältnisse des zunehmenden Abstandes. Die Oberfläche der gehobenen Flüssigkeit bildet daher eine krumme Linie, die mit dem einen Aste einer Hyperbel übereinstimmt, deren Mittelpunct in *o* liegt und von welcher die Linien *o a* und *o b* die Asymptoten sind.

Zwei ebne Platten, die man einander parallel gegenüber und an Fäden schwebend ins Wasser taucht, so dass zwischen beiden eine Capillar-Erhebung eintritt,

bewegen sich mit zunehmender Beschleunigung gegen einander, und fallen endlich zusammen, weil die capillare Aufsaugung dem Gewichte des Wassers zwischen beiden Platten entgegenwirkt und folglich ein Uebergewicht des Drucks auf die Aussenseite erzeugt. Aus diesem Grunde bewegen sich kleine schwimmende und von der Flüssigkeit benetzte Körper, wie Glaskugeln, Stückchen Kork, Luftblasen u. s. w., gegen einander und werden zuletzt immer von der gleichbeschaffenen Gefässwand angezogen. Dasselbe geschieht, wenn beide schwimmende Körper unbenetzt bleiben. Dagegen zwei schwimmende Körper, von denen der eine benetzt und der andere nicht benetzt ist, stossen sich ab.

Ueber Capillarität ist nachzulesen: Die physikalische Theorie derselben von Mile, Pogg. Ann. B. 45. S. 287. Eine Uebersicht von La Place mathematischer Theorie findet man in Biot traité de phy. 1. 455. Prisson's Einwürfe gegen die Theorie von La Place. Pogg. Ann. B. 25. S. 270. B. 27. S. 193.

Zu den Capillar-Phänomenen gehört das Abtrocknen mittelst Tuch oder Löschpapier; das Feuchtwerden poröser Körper, Holz, Tuch, Löschpapier, gebrannter Thon, trockne Erde, bei der Berührung mit Wasser und die Verbreitung dieser Feuchtigkeit auf beträchtliche Entfernungen von der Berührungsstelle; das Aufsteigen des flüssigen Fettes in den Dochten. Die Kraft, womit viele, insbesondere organische Stoffe, das Wasser in ihre Poren aufnehmen, und damit getränkt dasselbe festhalten, ist ausserordentlich gross; Verkürzen gespannter Seile durch Benetzen derselben; das Aufquellen z. B. des Holzes, der Hülsenfrüchte u. s. w.; Zersprengen von Felsen durch Einkeilen von trocknem Holze in passend angebrachte Einschnitte und durch Benetzen desselben. Viele Früchte, wie Kartoffeln, Aepfel u. s. w. sind dem grösseren Theile ihrer Masse nach Wasser, das zwischen einem Zellengewebe von äusserster Feinheit durch die Capillar-Action festgehalten wird. Auch das Schweben fein vertheilter fester Stoffe in Flüssigkeiten (die Suspension), so wie das Aufsteigen mancher Salzlösungen an den Wänden der Gefässe, das sogenannte Effloresciren oder Aufblühen, und viele andere Erscheinungen, die, ohne von eigentlich chemischen Veränderungen begleitet zu seyn, doch als letzte Aeusserungen der chemischen Thätigkeit betrachtet werden müssen, gehören hierher.

Das Aufsteigen und der Niedergang der Säfte in den Pflanzen lässt sich auf Capillarität allein nicht zurückführen, weil die Capillarkraft allein wohl Bewegung, aber keinen dauernden Bewegungszustand und keine Cirkulation bewirken kann. (Gehl. Wört. II. S. 53.)

189. Wenn tropfbare Flüssigkeiten, die durch Capillarität in Bewegung gesetzt sind, ausfliessen oder überströmen, so ist dies stets ein Beweis des Hinzutritts von noch andern Kräften, weil durch die Haarröhrchenkraft allein eine Bewegung über die Gränzen des die capillare Thätigkeit bedingenden festen Körpers hinaus nicht bewirkt werden kann.

Die bekannteste derartige Erscheinung ist das Durchseihen oder Filtriren. Das Eindringen der Flüssigkeit in die Poren des Filters geschieht hier durch Capillarität; das Ausfliessen aber ist eine Folge der Fortpflanzung des hydrostatischen Drucks durch die Poren des Filters. Es wird hierdurch begreiflich, warum der Process des Filtrirens durch Vergrösserung des Drucks, z. B. Erhöhung der über dem Filter stehenden flüssigen Säule, beschleunigt werden kann. Auch Erhöhung der Temperatur befördert gewöhnlich den Durchgang durch das Filter, weil Erwärmen die tropfbaren Flüssigkeiten in der Regel dünnflüssiger macht. Aus einem ungleichen Grade der Flüssigkeit oder der Beweglichkeit der Theile erklärt es sich, warum verschiedenartige flüssige Körper, unter sonst ganz gleichen

Umständen nicht immer gleich schnell durch das Filter laufen. Das Filtriren einer Flüssigkeit kann aber auch, je nach ihrer Fähigkeit, die Materie des Filters zu benetzen, beschleunigt oder aufgehalten werden. Z. B. das Quecksilber lässt sich nur vermittelst eines starken Drucks durch die Poren von Wildleder treiben. Wasser, Weingeist, Terpenthinöl, welche dieses Leder benetzen, dringen leicht hindurch. Die Adhäsion des Wassers zur Materie dieses Filters ist aber weit grösser als die des Terpenthinöls; auf dem mit Wasser benetzten Wildleder wird daher das Terpenthinöl zurückgehalten, während umgekehrt die letztere Flüssigkeit durch die erstere aus den Poren des Leders vertrieben werden kann.

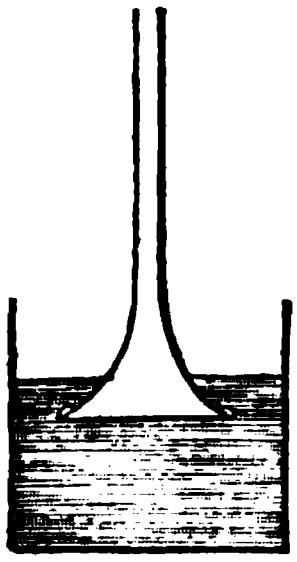
Manche Stoffe, ungeachtet sie gewisse Flüssigkeiten mit Begierde einsaugen, besitzen doch so enge Poren, dass sich ein hydrostatischer Druck nicht mehr durch dieselben fortpflanzen lässt. Bringt man z. B. Wasser in ein Gefäss von unglasirtem Thone (Bisquit), so wird in der Regel nichts durchsickern, ungeachtet sich die porösen Wände mit der Flüssigkeit vollsaugen. Aehnlich verhält sich thierische Haut. Wenn daher zwei Flüssigkeiten durch Blase oder porösen Thon oder eine andere ähnlich wirkende Scheidewand getrennt sind, so ist ein hydrostatischer Druck, der auf die eine dieser Flüssigkeiten wirkt, für die andere so gut wie nicht vorhanden.

Wenn beide Flüssigkeiten einander chemisch anziehen und zugleich beide die Scheidewand benetzen, so mischen sie sich in den Poren derselben, und diese chemische Thätigkeit, indem sie sich von der porösen Wand aus gleichmässig nach beiden Seiten hin äussert, wirkt ähnlich wie in dem Filter der hydrostatische Druck, d. h. sie zwingt beide Flüssigkeiten, zu einander überzuströmen. Da aber zwei verschiedenartige flüssige Körper in der Regel weder eine gleich grosse Beweglichkeit der Theile besitzen, noch gleich fähig sind, die Materie der Scheidewand zu benetzen und in die Poren derselben einzudringen, so können beide nicht mit gleicher Leichtigkeit zu einander überströmen, obschon die Kraft der chemischen Anziehung, welche die Ursache dieser Bewegung ist, von beiden Seiten mit gleicher Stärke wirkt. So kommt es, dass, wenn Flüssigkeiten, wie Wasser und wässerige Lösungen, Säuren, Alkalien, Weingeist, flüchtige Oele, flüssige Fette und überhaupt je zwei verschiedene, chemisch mischbare Flüssigkeiten durch eine poröse Wand, durch deren Poren der hydrostatische Druck sich nicht fortpflanzt, zusammentreten können, in den meisten Fällen von der einen mehr überströmt, als von der andern.

Befindet sich z. B. innerhalb eines Gefässes von porösem Thone Schwefelsäure, ausserhalb Wasser, so steigt das innere und sinkt das äussere Niveau, so lange bis beide Flüssigkeiten ganz gleichartig geworden sind. Von diesem Zeitpuncte an tritt keine weitere Veränderung ein, so sehr auch das innere von dem äusseren Ni-

veau verschieden seyn mag. — Man beobachtet ein ähnliches Verhalten, wenn man einen offenen, mit Blase überbundenen Glascylinder mit einer Auflösung von Kupfervitriol oder Kochsalz oder irgend einer andern wässrigen Lösung theilweise anfüllt und in reines Wasser stellt; stets wird sich das Volum der Auflösung vermehren, wenn schon ein Theil davon zum Wasser übergeht. Befindet sich die Salzlösung ausserhalb, das Wasser innerhalb des überbundenen Cylinders, so senkt sich die innere Flüssigkeit und die äussere steigt. Erwärmen befördert dieses Ueberströmen. Ueberbindet man ein mit Weingeist ganz angefülltes Glas mit Blase und umgibt es mit Wasser, so schwillt die Blase an, weil mehr Wasser eintritt, als Weingeist herausgeht; denn der Weingeist, wenn auch flüssiger als das Wasser, benetzt doch die Blase nur unvollkommen.

Das Ueberströmen, chemisch mischbarer durch poröse Scheidewände getrennter Flüssigkeiten zu einander, über dessen eigentliche Ursache man längere Zeit in Ungewissheit war, hat Dütrochet, um es von den Capillar-Phänomenen zu unterscheiden, Endosmose genannt. Eigentlich ist es aber nicht Dütrochet, sondern Fischer in Breslau, der diese Erscheinung zuerst beobachtet und untersucht hat. (Pogg. Ann. B. XI. S. 126.).



Um die Endesmose zweier verschiedenen Flüssigkeiten zu studiren, ist es zweckmässig, die eine derselben in ein trichterförmiges Gefäss zu bringen, dessen untere weite Oeffnung mit Blase zugebunden wird, und dessen oberer Theil aus einem langen cylindrischen Rohr besteht.

V. Von den physikalischen Eigenschaften der Luft und der gasförmigen Körper überhaupt.

190. Die Gase besitzen im vollkommensten Grade diejenige Eigenschaft, welche das eigentliche Wesen der Flüssigkeit ausmacht, nämlich: Beweglichkeit der Theile. Sie müssen daher, gleich den tropfbar flüssigen Körpern, jeden gegen irgend einen Theil ihrer Masse gerichteten Druck nach allen Richtungen mit unveränderter Stärke fortpflanzen (160.).

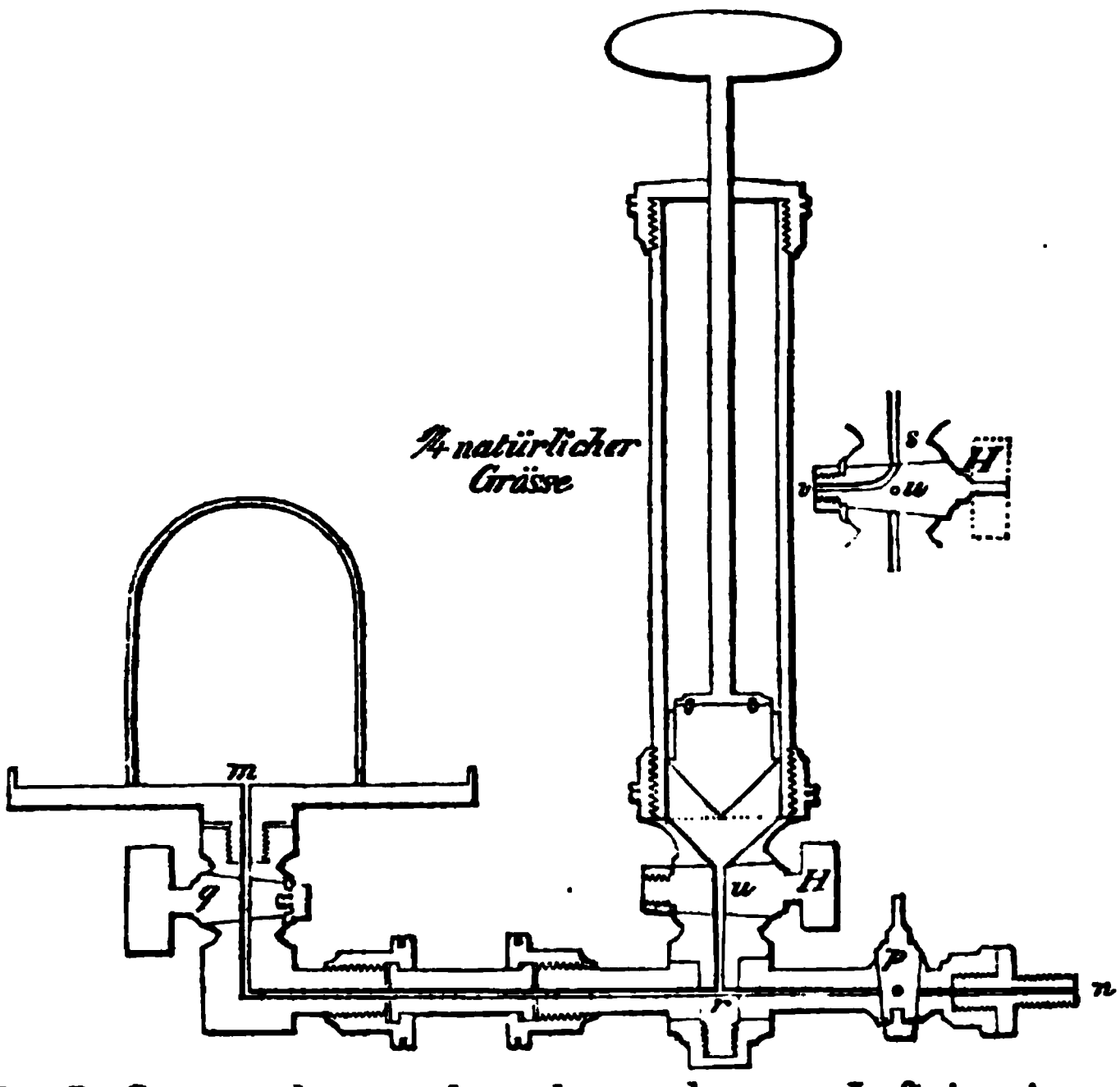
Das hydrostatische Grundgesetz mit allen seinen Folgerungen, so weit sich diese auf keine andere Eigenschaft als die Beweglichkeit der Theile stützen, hat also für die Luft dieselbe Geltung wie für das Wasser.

191. Die Gase unterscheiden sich von den tropfbar flüssigen Körpern durch ihre grosse Zusammendrückbarkeit, sowie durch ihre Ausdehnsamkeit oder das Bestreben, ihren Raum freiwillig zu vergrössern (40.). Vermöge der letzteren Eigenschaft verbreitet sich die Luft in jedem ihr dargebotenen Raume und füllt

jeden vollständig aus. Ist Ruhe eingetreten, so äussert sich die Ausdehnsamkeit als ein Druck, welchen ein Gastheilchen gegen das andere ausübt, womit eins das andere abstösst; derselbe Druck pflanzt sich auf die Wände des Gefässes fort, worin der gasförmige Körper eingeschlossen ist. Dieser Druck wird Spannkraft (Expansivkraft) genannt.

192. Auf der Ausdehnsamkeit beruht eine für das Stadium der Eigenschaften der Luft unentbehrliche Geräthschaft, die Luftpumpe.

Die Luftpumpe ist ein hohler, inwendig sehr glatter Cylinder, worin ein dicht anschliessender Kolben auf- und nieder bewegt werden kann. Das eine (gewöhnlich obere) Ende des Cylinders (des sogenannten Stiefels) kann ganz offen seyn, das andere (untere) Ende steht nur durch eine sehr enge, mittelst eines Hahns verschliessbare Oeffnung in Verbindung mit Aussen. (Fig. 48.).



Die Luftpumpe kann gebraucht werden, um Luft in einem geeigneten Behälter zu verdünnen, oder auch um sie darin zu verdichten. Der Hahn *H* ist, um zu beiden Zwecken dienen zu können gewöhnlich doppelt durchbohrt. Die eine Durchbohrung *u* (siehe die Fig.) leitet zu dem engen Kanale *n m*. Durch eine Viertelsumdrehung des Hahns wird der Mund *s* der zweiten Durchbohrung *s v* vor die enge Oeffnung am untern Ende des Stiefels gebracht und dadurch eine Verbindung

des innern Raums mit der äussern Luft bewerkstelligt. Der Kanal *n m* ist durch zwei Hahnen, *p* und *q*, mit einfacher Durchbohrung verschliessbar. Der Arm *r n* desselben dient, um nach Bedürfniss einen Behälter luftdicht anschrauben zu können; der Arm *r m* des Kanals öffnet sich in die Mitte einer eben geschliffenen Platte (des Tellers), worauf Behälter mit abgeschliffenem und fettig gemachtem Rande, sogenannte Recipienten, z. B. Glasglocken, luftdicht aufgesetzt werden können.

Hebt man den Kolben, während der Hahn die in der Zeichnung angegebene Stellung hat, so verbreitet sich ein Theil der im Kanale und in der Glocke enthaltenen Luft in dem Stiefel unterhalb des Kolbens. Gibt man hierauf dem Hahn die andere Stellung, so wird die auf diese Weise aus der Glocke entfernte und davon getrennte Luft durch Niederdrücken des Kolbens in die Atmosphäre getrieben. Eine Wiederholung dieses Spiels bedingt eine abermalige Verdünnung der Luft in der Glocke u. s. f., so lange sie vermöge ihrer Ausdehnsamkeit jeden ihr dargebotenen Raum auszufüllen vermag.

Um mittelst der Luftpumpe Luft zu verdichten, verfährt man umgekehrt, d. h. man hebt den Kolben, während die Durchbohrung *s v* des Hahns nach oben gekehrt ist. Dadurch füllt sich der Stiefel mit atmosphärischer Luft, die dann durch eine Viertelsumdrehung des Hahns in Verbindung mit dem Kanale *n m* gesetzt, und durch den Niedergang des Kolbens in ein bei *n* oder *m* befestigtes Gefäss gepresst werden kann.

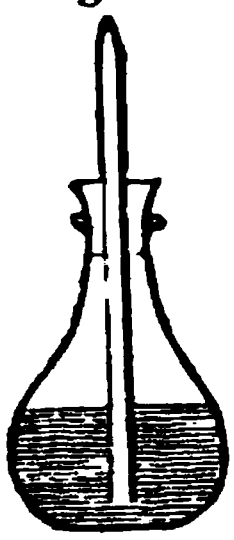
Der Verschluss des Stiefels der Luftpumpe geschieht nicht immer durch einen Hahn. Eben so häufig gebraucht man statt dessen zwei Klappen (Ventile), von denen die eine am Boden des Cylinders, die andere im Kolben angebracht ist und welche sich beide in gleichem Sinne, z. B. beide von unten nach oben, öffnen. Hebt man den Kolben, so entsteht unter demselben ein leerer Raum; das Bodenventil (Saugventil) wird daher durch die Spannkraft der Luft in der Glocke aufgestossen, das Kolbenventil dagegen durch die Spannkraft der äusseren Luft fester angedrückt. Beim Niedergang des Kolbens geschieht gerade das Umgekehrte. Wenn Luft verdichtet werden soll, müssen sich, wie leicht einzusehen, beide Klappen im entgegengesetzten Sinne, nämlich von oben nach unten öffnen. Eine Ventil-Luftpumpe kann daher nicht zugleich zum Verdünnen und zum Verdichten der Luft gebraucht werden.

Die Luftpumpe ist im Jahre 1650 von Otto von Guerike in Magdeburg erfunden, und 1654 von ihm auf dem Reichstage zu Regensburg vorgezeigt worden. Seine erste Luftpumpe hatte Ventile. Guerike hat auch die Eigenschaft der Luft, sich freiwillig auszudehnen, zuerst beobachtet.

Mittelst der Luftpumpe lässt sich die Zusammendrückbarkeit und Ausdehnsamkeit der Luft sehr leicht anschaulich machen.

Z. B. eine Schweinsblase, fest zugebunden unter die Glasglocke gebracht, schwillt während des Auspumpens an, indem das darin eingeschlossene Gas gleich der übrigen Luft in der Glocke sich ausdehnt oder verdünnt. Mit der zunehmenden Verdünnung der Luft vermindert sich aber die Gewalt ihres Bestrebens, sich noch weiter auszudehnen, daher bei Eröffnung des Hahns *p*, die äussere Luft, vermöge ihrer überwiegenden Spannkraft sogleich eingepresst wird und die Blase wieder zusammenfällt. Aus demselben Grunde fällt eine aufgetriebene Blase zusammen, wenn man ihren Gas-Inhalt mittelst der Luftpumpe auszieht. Durch Eintreiben eines Gases schwillt sie dagegen an, weil nunmehr die innere Spannkraft das Uebergewicht erhält.

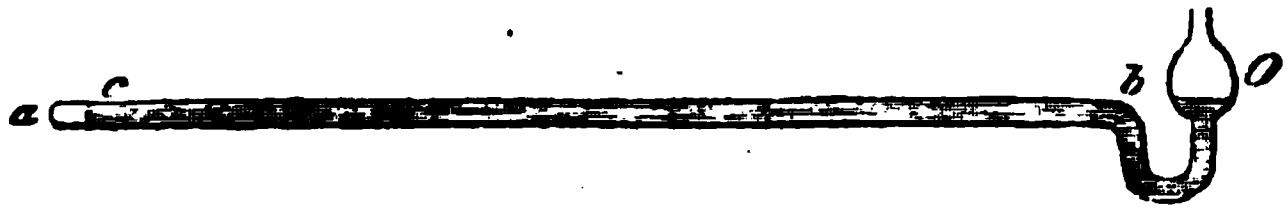
Fig. 49.



Bringt man ein Gefäss, wie Fig. 49., das mit Wasser halb angefüllt und mittelst eines Stöpsels geschlossen ist, durch welchen ein offnes Glasrohr mit enger Ausmündung bis unter den Wasserspiegel hinabgeht, unter die Glocke der Luftpumpe und pumpt aus, so wird das Wasser durch die überwiegende Spannkraft der eingeschlossenen Luft mit Gewalt herausgetrieben. Dieselbe Erscheinung lässt sich auch im offenen Luftraume hervorbringen, wenn man zuvor Luft in das Gefäss einpresst und dadurch die innere Spannkraft vergrössert. Heronsball. Das Spritzglas des Chemikers.

Eine kleine Menge trockner Luft, die in dem engen und in gleiche Unterabtheilungen gebrachten Glasrohr *a b* (Fig. 50.) mittelst Quecksilbers abgeschlossen ist und ausserhalb der Luftpumpe etwa den Raum *a c* ausfüllt, vergrössert ihren Umfang, sobald die

Fig.50.

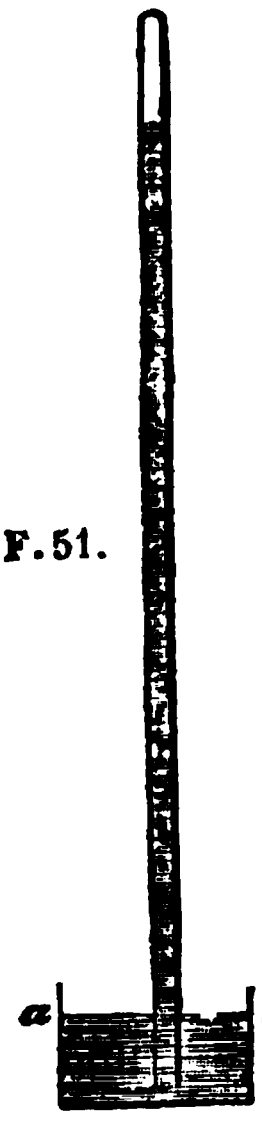


Luft in dem Behälter *o*, der von dem Raume *a c* nur durh dcas flüssige Metall getrennt ist, verdünnt wird. Unter einer guten Luftpumpe erweitert sich das Volum *a c* um das 300fache und mehr; aber stets gelangt man zu einer Gränze, über welche hinaus, mittelst einer gegebenen Luftpumpe, die Verdünnung nicht getrieben werden kann. Der schädliche Raum.

193. Die atmosphärische Luft müsste sich vermöge der abstossenden Kraft ihrer Theile bis ins Unbegränzte ausdehnen, sie müsste sich im weiten Weltraume zerstreuen, wenn nicht ihrer Spannkraft durch einen Widerstand das Gleichgewicht gehalten würde. Dieser Widerstand ist ihr Gewicht. Das Gewicht der Luft lässt sich mit Hülfe der Luftpumpe aufs augenscheinlichste nachweisen. Eine hohle, geräumige Glasklugel, die mittelst eines Hahns verschliessbar ist, werde, nachdem ein Theil der Luft daraus entfernt worden, an der

Wage ins Gleichgewicht gebracht. Man lasse sodann durch Oeffnen des Hahns die Luft wieder eindringen, die Wagschale, woran die Glaskugel hängt, wird sogleich sinken; diese Gewichtszunahme kann aber nur von dem Gewichte der eingedrungenen Luft herrühren.

F. 51.



Da die Luft schwer ist, muss sie auf ihre Unterlage, nämlich auf die feste wie flüssige Erdoberfläche drükken. Man kann durch folgenden Versuch beweisen, dass ein solcher Druck wirklich stattfindet. Ein Glasrohr von wenigstens 30 Par. Zoll Höhe, dessen eines Ende zugeschmolzen ist, werde mit Quecksilber ganz angefüllt, die Oeffnung mit dem Finger geschlossen, umgekehrt und in ein von derselben Flüssigkeit enthaltendes, flaches Gefäss eingesenkt. Entfernt man dann den Finger, so wird die Quecksilbersäule sogleich um einige Zoll herabsinken, dann aber sich bei ungefähr 28 Zoll senkrechter Höhe in Ruhe stellen. Der Raum über dem Quecksilber enthält, wenn der Versuch richtig angestellt worden, keine Luft und wird bei hinreichender Neigung des Rohrs wieder ganz von dem flüssigen Metalle ausgefüllt. Die Grundfläche dieser über die Ebne sich erhebenden Quecksilbersäule hat das ganze Gewicht der letzteren zu tragen. Wenn nun jedes gleich grosse Stück des ebenen Quecksilberspiegels *a b* nicht denselben Druck auszuhalten hätte, so würde kein Gleichgewicht entstehen können, und der Quecksilber-Inhalt des Rohrs müsste ausfliessen. Da er zurückgehalten wird, muss man schliessen, dass die Atmosphäre auf die Oberfläche der Erde einen Druck ausübt, so gross, als ob letztere mit einer Quecksilbermasse von 28″ Höhe bedeckt wäre. Demselben Drucke ist jeder Körper an der Erdoberfläche, und zwar von allen Seiten her, ausgesetzt (160.).

Flüssigkeiten die leichter sind als Quecksilber, müssen in luftleeren Röhren, im verkehrten Verhältnisse ihrer geringeren Dichtigkeit höher steigen als letzteres, um dem Luftdruck das Gleichgewicht halten zu können. Wenn man z. B. das eine Ende eines offnen cylindrischen Rohrs, worin sich ein dicht anschliessender, übrigens beweglicher Kolben befindet, ins Wasser taucht, dann den Kolben aufzieht, so folgt die Flüssigkeit nach, bis zu 13,599.28 Zoll oder 31,7 Fuss senkrechter Höhe über dem Wasserspiegel. Weiter lässt sich das Wasser unter dem Einflusse des Luftdrucks nicht heben, wenn auch der Kolben noch höher steigt. Mit Wasser angefüllte Gefässe, die man in einem weiteren Wasser-Behälter umkehrt, kann man daher (innerhalb der berechneten Gränze) bis zum Rande der Oeffnung herausheben, ohne dass etwas ausfliesst. (Der horror vacui der Alten). Die richtige Erklärung dieses Verhaltens ist zuerst von Evangelista Torricelli um das Jahr 1644 gegeben worden.

Der Luftdruck lässt sich auch durch Versuche mit der Luftpumpe leicht anschaulich machen. Z. B. die Glasglocke haftet, nachdem die Luft ausgepumpt ist, fest an dem Teller. — Wird ein oben offner Recipient mit der Hand zugehalten und die Luft darunter verdünnt, so wird die Hand fest auf den Rand der Oeffnung angedrückt und kann nicht ohne Anstrengung weggerissen werden. —

Eine über die Oeffnung des Recipienten gespannte Blase senkt sich während des Verdünnens ein; wenn der Durchmesser wenigstens 3—4 Zoll beträgt, wird sie zersprengt. Guerike's Versuch mit hohlen Halbkugeln. In Glasröhren, deren unteres Ende in Quecksilber oder Wasser eintaucht, deren oberes mit dem Recipienten verbunden ist, steigt die Flüssigkeit während des Auspumpens. Wie hoch kann auf diese Weise eine Flüssigkeit gehoben werden? Warum werden weiche, lockere Stoffe durch den Druck der Luft nicht zusammengedrückt? Warum wird die freie Beweglichkeit des menschlichen Körpers nicht dadurch gehemmt? — Eine Folge der gleichförmigen Fortpflanzung des Luftdrucks nach allen Richtungen hin ist auch die rückwirkende Kraft der ausströmmenden Luft (171.).

194. Nur die am niedrigsten gelegenen Strecken der Erdoberfläche befinden sich unter dem Drucke der ganzen Atmosphäre. Höher liegende Gegenden haben nur die über ihnen schwebenden Luftschichten zu tragen. Der Luftdruck muss daher in den höheren Theilen der Atmosphäre abnehmen. In der That findet man, dass das Quecksilber aus dem Rohre (Fig. 51.) zum Theil ausfliesst, wenn es auf hohe Berge getragen wird.

Der erste Versuch dieser Art wurde (1649) durch Pascal's Veranlassung auf dem Gipfel des Puy de Dome in der Auvergne angestellt. Torricelli's Beweis, dass die Luft Gewicht besitze, erhielt dadurch eine Vervollständigung, die keinem Zweifel mehr Raum gestattete. Uebrigens hat schon Aristoteles auf die Schwere der Luft aus dem Umstande geschlossen, dass Lederschläuche durch Aufblasen an Gewicht zunehmen.

195. **Barometer.** Eine Geräthschaft, ähnlich dem luftleeren, eine bewegliche Quecksilbersäule enthaltenden Glasrohr (Fig. 51.), welche gebraucht werden kann, die Grösse des Luftdrucks zu messen, wird **Barometer** oder **Luft-Schweremesser** genannt. Wenn das untere offene Ende des Rohrs, wie in Fig. 42., in ein weiteres Gefäss eintaucht, so heisst es **Gefäss-Barometer**. **Heber-Barometer** nennt man es, wenn der untere Theil des Rohrs heberförmig umgebogen ist, wie in Fig. 53., dergestallt, dass der kurze, offne und also dem Zutritt der Luft ausgesetzte Schenkel desselben selbst die Stelle des Gefässes vertritt. Ist der untere umgebogene Theil des Rohrs zu einem Gefässe erweitert worden, wie in Fig. 54., so führt es die Namen **Kugel-Barometer, Flaschen-Barometer**, auch wohl **gemeines Barometer** und **Wetterglas**.

Fig. 52. Fig. 53. Fig. 54.

Man hat schon frühzeitig die Bemerkung gemacht, dass die Höhe der Barometer-Säule nicht nur mit der Höhe des Beobachtungsortes wechselt, sondern auch an einem und demselben Orte, von Tag zu Tage, ja von Stunde zu Stunde bald grösseren, bald geringeren

Schwankungen unterworfen ist. Da dieser Wechsel mit dem der übrigen Beschaffenheit unserer Atmosphäre im Zusammenhange stehen muss, und man also hoffen durfte, durch die Kenntniss des ersteren Aufschlüsse über die Ursachen des letzteren zu gewinnen, so ist das Barometer sehr bald nach seiner Erfindung ein sehr viel gebrauchtes physikalisches Instrument geworden. Auch hat man demselben, theils in der Absicht, um seine Empfindlichkeit zu vermehren, theils um seine Anzeigen mit grösserer Bequemlichkeit oder Sicherheit und Schärfe beobachten und messen zu können, im Laufe der Zeit, ausser der schon erwähnten, sehr mannichfaltige andere Formen gegeben. Sie sind grösstentheils, als unzweckmässig, wieder in Vergessenheit gerathen.

Die Güte und Brauchbarkeit des Barometers hängt hauptsächlich davon ab, dass das nicht unter zwei Linien weite Rohr mit reinem Quecksilber gefüllt sey, dass der Raum über dem Quecksilber (die Torricelli'sche Leere) keine Luft enthalte und dass dem Werkzeuge ein richtiger Maassstab beigegeben sey, der eine genaue Messung des lothrechten Abstandes des oberen von dem unteren Quecksilberspiegel gestattet. Dieser Maassstab muss daher selbst in lothrechte Stellung gebracht werden können und die Quecksilbersäule ihrer ganzen Länge nach begleiten.

Reinigung des Quecksilbers: durch Destillation und nachheriges Schütteln mit Schwefelammonium, um beigemengtes Quecksilberoxyd zu entfernen, oder durch längeres Schütteln mit reiner, stark verdünnter Salpetersäure. In beiden Fällen wird das Quecksilber zuletzt mit destillirtem Wasser ausgewaschen und getrocknet. Einfüllen des Quecksilbers in das ausgetrocknete Rohr durch einen Trichter mit sehr feiner Oeffnung. Auskochen des Barometers. Durch Austrocknen des Rohrs und Quecksilbers unter der Luftpumpe mittelst Schwefelsäure und Einfüllen im luftverdünnten Raume lässt sich das Auskochen sehr erleichtern, ja ganz ersparen.

Bei den besten Gefässbarometern ist das Glasrohr seiner ganzen Länge nach geradlinigt, möglichst cylindrisch und in der Mitte des ebenfalls cylindrischen Gefässes befestigt. Es ist mit einer Hülse von Messing umgeben, worauf die Theilung des Maasses aufgetragen ist. Diese Hülse ist am oberen Theile, um die Kuppe der Quecksilbersäule sichtbar zu machen, an zwei gegenüberstehenden Seiten 2 — 2,5 Linien breit und 12 — 13 Zoll hoch ausgeschnitten. Durch diesen Spalt, den man zwischen Fenster und Auge richtet, lässt sich der Stand des Quecksilbers leicht beobachten. Die genauere Einstellung geschieht mittelst eines Nonius. Während des Gebrauchs wird das Instrument wie ein Pendel an einer Achse aufgehängt, die über der Mitte der Hülse angebracht ist und deren Lager selbst wieder auf einer Axe ruht, welche die Richtung der ersteren rechtwinklicht durchkreuzt. Der Zweck dieser ganzen Anordnung ist, dem Maassstab die lothrechte Stellung zu sichern. — Zum Zwecke sehr genauer Messungen kann der Stand des Quecksilberspiegels im Gefässe nicht als unveränderlich betrachtet werden. Gleichwohl muss der 0 Punct der Scala (des Maassstabs) stets mit der Ebne desselben zusammenfallen. Dieser Bedingung kann bei manchen Barometern nur durch Rechnung genügt werden; bei andern gestattet die Anordnung des Instrumentes, die erforderliche Berichtigung durch einen Versuch zu bewerkstelligen. Die verschiedenen Mittel, welche man zur Erreichung dieses letzteren Zweckes angewendet hat, bilden die wesentlichste Verschiedenheit der nach Hörner, Fortin und Andern benannten Gefässbarometer. (Gehl. I. S. 779.)

Fig. 55.

Das Heberbarometer erfordert stets eine Messung des Standes beider Quecksilberspiegel. Sein Gebrauch ist daher, so oft grosse Genauigkeit keine ganz nothwendige Bedingung ist, etwas umständlicher, als der des Gefässbarometers. Dagegen ist ersteres viel leichter und bequemer zu tragen als letzteres; es eignet sich daher vorzugsweise als Reisebarometer und Höhenmessbarometer. — Bei den besten Heberbarometern ist das Rohr an beiden Enden, so weit die Schwankungen der beiden Quecksilberspiegel gehen können, genau gleich weit, übrigens wie Fig. 55. gebogen. Durch diese Biegung ist der untere Quecksilberspiegel lothrecht unter den oberen gebracht; ihr Abstand kann leichter übersehen und mittelst eines einzigen, in lothrechter Stellung angelegten Massastabes gemessen werden. Der Maassstab, gewöhnlich ein schmaler Messingstreifen, der das Rohr seiner ganzen Länge nach begleitet, kann mit diesem in einer Hülse eingeschlossen, oder auch auf einem Brette, befestigt werden. Ist die Scala unverrückbar, so befindet sich oben und unten ein Nonius nebst Zeiger oder Visir-Vorrichtung zur genaueren Einstellung. Man hat aber auch Heberbarometer mit verschiebbaren Scalen; sie ersparen den zweiten Nonius und vereinfachen überhaupt das Messen. Bewegliche Barometerröhren auf unverrückbarer Scala sind weniger zu empfehlen.

Um das Heberbarometer zum Transporte einzurichten, neigt man es, damit die leere Kammer sich ganz anfüllen kann; der untere offne Theil des Rohrs wird dann mittelst eines elastischen Stöpsels, am besten von Gummi Elasticum mit Seide umwickelt, und an einem Fischbeinstab befestigt, verschlossen, indem man denselben bis in die Queksilbermasse herabdrückt. Gay-Lüssac sucht bei den nach ihm benannten, sehr verbreiteten Reisebarometern die Schwankungen während des Transportes, so wie das Eindringen der Luft in den oberen Theil dadurch zu verhindern, dass er den Uebergang des Quecksilbers aus einem Schenkel in den andern nur durch ein fast haarfeines Rohr gestattet.

Aehnliche Anordnung bei den Schiffsbarometern, die übrigens zu der Klasse der Gefässbarometer gehören. (Gehl. I. S. 777.)

Schwierigkeit der richtigen Stellung des Auges beim Messen des Barometers. Verschiedene Visir-Vorrichtungen, um den Fehlern, die hierdurch entstehen können, zu begegnen. (Handw. d. Ch. u. Phy. I. S. 680.)

Das Flaschenbarometer, unter allen Barometern das am meisten verbreitete und am häufigsten gebrauchte, kann als eine Abart des Gefässbarometers betrachtet werden. Es wird als eigentliches Messwerkzeug gewöhnlich nicht verwendet, seine Bestimmung ist vielmehr die eines meteorologischen Instrumentes; es soll dienen, um aus einer annähernden Kenntniss der eintretenden Schwankungen des Luftdrucks Folgerungen auf die bevorstehenden Witterungsverhältnisse zu ziehen; daher der Name Wetterglas. Ein eigentlicher Maassstab ist desshalb niemals angebracht und nur an dem oberen Theile des Brettes, worauf das ganze Instrument fest sitzt, ein getheilter Papierstreifen aufgeklebt, der jedoch keinen andern Zweck haben kann, als den, die Grösse der vorkommenden Schwankungen mit grösserer Bequemlichkeit zu schätzen.

Wenn der Durchmesser eines Barometerrohrs weniger als 6 Par. Linien beträgt, so äussert die Capillardepression einen Einfluss auf die Höhe der Quecksilbersäule, der nicht mehr unbeachtet bleiben kann. Gefässbarometer geben dann immer einen zu niedrigen, Heberbarometer (weil die Krümmung des Meniskus im offnen Theile immer stärker ist, als in der leeren Kammer) einen zu hohen Stand. Um diesen Fehler zu berichtigen, hat man bis jetzt kein anderes ganz sicheres Mittel, als die Vergleichung mit solchen Barometern, bei welchen er gar nicht eintreten kann, d. h. welche sehr weit (wenigstens 6 Linien weit) sind und ausserdem eine sehr genaue Messung zulassen. Instrumente dieser Art werden Normal-Barometer genannt. Man zieht Barometer mit engen Röhren desshalb oft vor, weil sie wohlfeiler und compendiöser sind und sich besser zum

Transporte eignen. Die Anzeigen derselben sind brauchbar, wenn man sie ein für allemal durch Vergleichung mit einem Normalbarometer corrigirt hat.

Das auf der Barometerscala aufgetragene Längenmaass ist gewöhnlich entweder der alt französische Fuss oder das Meter. Ersteres ist nur für die Temperatur von 16°,25, letzteres nur für die von 0° richtig. Für jede andere Temperatur hat man daher eine kleine Berichtigung vorzunehmen, die, wenn die Materie der Scala, wie gewöhnlich, Messing ist, nach der Formel (62.)

$$x = \frac{(54000 + t)\, b}{54000 + 16{,}25}$$ geschieht;

b bedeutet hier den beobachteten Barometerstand, t die Temperatur der Masse des Maassstabs. Eine hinreichende Genauigkeit gewährt auch die Näherungsformel $x = b + 0{,}006\,(t - 16{,}25)$ für das alt französische Maass, oder $x = b + 0{,}014\,t$ für das Meter.

Eine zweite Berichtigung erheischt die mit dem Stande des Thermometers veränderliche Dichtigkeit des Quecksilbers, wodurch bei einem und demselben Luftdrucke dennoch ungleich hohe Barometerstände entstehen müssen. Um verschiedene Beobachtungen auch in dieser Beziehung vergleichbar zu machen, ist es nothwendig, sie auf einerlei Temperatur des Quecksilbers zurückzuführen. Gewöhnlich wählt man hierzu den Schmelzpunct des Eises. Die absolute Ausdehnung des Quecksilbers beträgt für jeden Thermometergrad $\frac{1}{5550}$ des bei 0° gemessenen Rauminhaltes, also in unserem Falle der bei 0° gemessenen Barometersäule. Der Stand des Barometers von t° auf 0° reducirt, ist folglich

$$x = \frac{5550\, b}{5550 + t}$$

Wenn die bei t°gemesseneLänge von derjenigen von 336‴ nicht mehr als um 10‴ abweicht, so darf man auch nach der Näherungsformel $x = b - \frac{0{,}06\, t}{2}$ rechnen. Der dadurch begangene Fehler kann $\frac{1}{100}$ Linien nicht übersteigen.

Ausführlicheres über das Barometer findet man im Handw. d. Ch. u. Phy. I. S. 671; auch in Gehl. Wört. I. S. 759.

196. Der Luftdruck oder eine der Grösse desselben entsprechende Quecksilberhöhe dient häufig als Maass für solche Pressungen, die unabhängig von der Grösse der gedrückten Fläche bezeichnet werden sollen. Da aber der Barometerstand fortwährenden Schwankungen unterliegt, so versteht man unter einem Atmosphärendrucke vorzugsweise den Druck einer Quecksilbersäule von 0,76 Meter = 336,9 Par. Linien Höhe, oder, was dasselbe sagt: einer Wassersäule von 31,8 Par. Fuss. Es ist dies nahezu der mittlere Barometerstand am Meere.

Beispiel: Die Fische in einer Tiefe von 318 Fuss unter der Meeresfläche sind ringsum einem Drucke von 10 Atmosphären ausgesetzt.

Um den Atmosphärendruck in Gewicht, oder umgekehrt Gewichte in Atmosphärendruck zu übersetzen, hat man zu merken, dass eine Quecksilbersäule von 0,76 Meter Höhe

für je 1 Q. Centimeter Grundfläche wiegt	1,0337	Kilogramme	
„ „ 1 Q. Decimeter „ „ „	103,3700	„	„
„ „ 1 Paris. Q. Linie „ „ „	0,0527	„	„
„ „ 1 Paris. Q. Zoll „ „ „	7,5884	„	„
„ „ 1 Paris. Q. Fuss „ „ „	1092,7000	„	„

Beispiel: In ein Gefäss von beliebigem Umfange, das mit Flüssigkeit ganz angefüllt ist, werde durch eine Oeffnung von 0,25 Q. Z. Querschnitt ein dicht anschliessender Stöpsel mit einer Kraft von 45,5 Klgrm. eingetrieben; so befindet sich die eingeschlossene Flüssigkeit und ebenso die Innenwand des Gefässes unter einem Drucke von $\frac{45,5}{7,5884 \,.\, 0,25} = 24$ Atmosphären.

Sehr vielen Berechnungen, besonders in älteren deutschen Schriften, ist als Einheit des Atmosphärendrucks eine Quecksilberhöhe von 336 Par. Lin. oder 28 Zoll zu Grunde gelegt. Keine dieser beiden, übrigens wenig von einander abweichenden Grundlagen hat wirkliche Vorzüge vor der andern; die erstere, nämlich 309,9 P. L., ist aber in neuerer Zeit üblicher geworden als die letztere.

197. Der Stand des Barometers (Schweremessers) ist nicht immer ein genaues Maass des Gewichtes der Atmosphäre; er bezeichnet zunächst nur die Grösse ihrer Spannkraft, d. h. die Grösse des Widerstandes, welchen die Lufttheile einem äusseren Drucke entgegensetzen. Man verschliesse den offnen Theil des Instrumentes gegen den Zutritt der äusseren Luft; die Höhe der Quecksilbersäule wird dadurch nicht im geringsten geändert. Verdünnt man aber die innere eingeschlossene Luft und vermindert man dadurch ihre Spannkraft, so sinkt das Quecksilber, verdichtet man die innere Luft, so steigt das Quebksilber im Barometer.

198. Das Mariottische Gesetz. Die Spannkraft der Luft steht zu ihrem räumlichen Inhalte in einer sehr einfachen Beziehung, die sich auf folgende Art aussprechen lässt: Bei gleichbleibender Temperatur verhält sich die Spannkraft der Luft direkt wie ihre Dichtigkeit, oder: der Rauminhalt einer gegebenen Luftmenge ändert sich im verkehrten Verhältnisse des äusseren Drucks und ihrer eignen Spannkraft.

Fig. 56.

Dieses wichtige Gesetz ist fast gleichzeitig von Boyle und Mariotte (um 1670) entdeckt und besonders von Letzterem durch genaue Versuche erwiesen worden.

Ein offnes cylindrisches Rohr von mehr als 30 Zoll Länge, dessen obere Hälfte in gleiche Volumabtheilungen gebracht ist, werde in ein Quecksilberbehälter von entsprechender Tiefe (Fig. 56.) bis an den oberen Rand eingesenkt, so dass es sich ganz anfüllt. Hierauf mit dem Finger bei a geschlossen und allmählig herausgehoben, bleibt es gefüllt, und erst bei einer Höhe von 28 Zoll trennt sich die enthaltene Quecksilbersäule von dem Finger, um fortan diese dem Luftdrucke entsprechende Höhe unverändert zu behaupten. Man wiederhole denselben Versuch, jedoch in der Weise, dass in dem cylindrischen Rohr, bevor es mit dem Finger zugehalten wird, ein Volum Luft zurückgelassen ist. Auch jetzt wird eine Quecksilbersäule mit herausgezogen; sie wird jedoch nie die Höhe von 28 Zoll erreichen, so weit man auch das Rohr erheben mag. Der Grund ist, weil die Spannkraft des eingeschlossenen Luftvolums für sich schon einem Theile des Atmosphärendrucks das Gleichgewicht hält; gerade um so viel muss die innere Quecksilbersäule niedriger stehen, als der Stand des Barometers. Der Unterschied beider Quecksilberhöhen bezeichnet daher die jedesmalige Spannkraft der in dem Rohre oberhalb des Quecksilbers abgeschlossenen Luft. Indem nun das Rohr nach und nach so weit herausgezogen wird, dass der Umfang der eingeschlossenen Luft sich verdoppelt, verdreifacht, vervierfacht u. s. w., findet man, dass die dieser ausgedehnten Luft ent-

sprechenden Spannkräfte nur ½, ⅓, ¼, u. s. w. des anfänglichen Drucks betragen.

Fig. 57.

Um die Richtigkeit des mariottischen Gesetzes für verdichtete Luft zu beweisen, bedient man sich eines langen, oben offnen Glasrohrs (Fig. 57.), dessen unterer Theil heberförmig umgebogen, in gleiche Volumtheile gebracht und zugeschmolzen ist. Eine kleine Quecksilbersäule trennt die im kurzen Schenkel enthaltene Luft vor dem Zutritt der äusseren. Durch Zugiessen von Quecksilber in den offnen Theil des Rohrs wird die im verschlossenen Theile abgesperrte Luft verdichtet, dergestalt dass nur die Hälfte ihres anfänglichen Umfangs bleibt, wenn der senkrechte Höhenunterschied beider Quecksilberspiegel der Barometerhöhe gleich kommt, oder mit andern Worten: wenn der anfängliche Druck sich verdoppelt hat. Auf gleiche Weise wird durch das Dreifache des anfänglichen Drucks die abgesperrte Luft auf ein Drittel des anfänglichen Volums verdichtet u. s. w. Die Richtigkeit dieses Verdichtungsgesetzes ist von Dülong und Arago bis zu dem Drucke von 27 Atmosphären geprüft worden. (Pogg. Ann. B. XVIII. 441.) Es lässt sich nicht bezweifeln, dass auch weit stärkere Verdichtungen nach demselben Verhältnisse eintreten, wiewohl man hierüber bis jetzt keine ganz zuverlässigeu direkten Beweise hat.

199. Das mariottische Gesetz gilt nicht blos für die Luft, sondern für alle gasförmigen Stoffe; jedoch für jeden nur bis zu gewissen Gränzen der Verdichtung, die von der besonderen Natur des Stoffs, so wie von der herrschenden Temperatur abhängig sind und für deren Bestimmung man bis jetzt keinen andern Anhaltspunct als die Erfahrung besitzt.

Mehrere Gase, wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, scheinen dem mariottischen Gesetze, selbst unter der Einwirkung der stärksten zusammendrückenden Kräfte, denen man sie bis jetzt unterwerfen konnte, zu folgen. Andere verdichten sich, über eine gewisse Gränze hinaus, stärker, als es das mariottische Gesetz verlangt, und gehen bei noch stärkeren Pressungen in den tropfbar flüssigen Zustand über. Der hierzu erforderliche Druck ist um so geringer, je niedriger die Temperatur ist. Beispiel: Zwei graduirte Glasröhren, die eine mit trocknem schwefligsaurem Gase, die andere mit trockner Luft gefüllt, wurden mit ihrem unteren offnen Ende in ein eisernes Schälchen mit Quecksilber getaucht, Schälchen und Röhren in einen weiteren Glascylinder gesetzt, dieser mit Wasser gefüllt und nun, mittelst einer in letzterem befindlichen Schraubenpresse, bei einer Temperatur von 21°, 25 comprimirt. Es ergaben sich folgende Verdichtungen (Oersted in Pogg. Ann. B. IX. S. 606.):

Bei der Luft: 1; 2; 2,28; 2,37; 2,51; 2,97: 3,19.
Bei dem Gase: 1; 2; 2,28; 2,38; 2,53; 3,02; 3,32.

Bei noch grösserem Drucke bildeten sich Tropfen von schwefliger Säure an den Wänden des Glasrohrs. Schwefligsaures Gas folgt also dem mariottischen Gesetze, bei 21°,25, genau nur bis zu 2, 3 Atmosphärendruck.

Durch verstärkten Druck können folgende gasförmige Körper bei der angegebenen Temperatur tropfbar flüssig gemacht werden:

Namen des Gases.	Temperatur.	Druck in Atmosphären.
Ammoniak	— 33°	1
„	0	5
„	+ 10°	6,5
Chlor	0	6,5
Chlorwasserstoff	0	33
Cyan	12,5	4
Kohlensäure	— 20	26
„	0	36

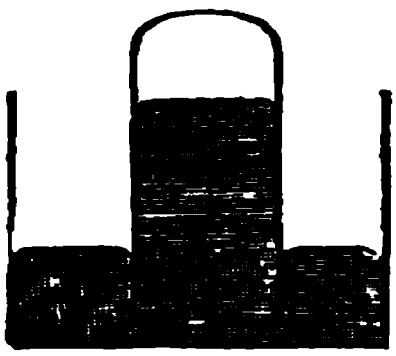
Namen des Gases.	Temperatur.	Druck in Atmosphären.
Kohlensäure . . .	+ 30 . . .	73
Schweflige Säure . .	— 10 . . .	1
„ . .	+ 7 . . .	2
„ . .	+ 12,5 . . .	3
Stickstoffoxydul . .	0 . . .	44 .

Wenn man sich vorstellt, dass die kleinsten Theile der Gase, vermöge der sie umgebenden Wärmeatmosphären (48) nach allen Richtungen hin eine gleiche Abstossung ausüben, während andere, entgegengesetzte Kräfte entweder nicht vorhanden oder im Gleichgewichte sind; so gelangt man, unter Voraussetzung gleichbleibender Temperatur oder stets gleicher Abstossungskraft (70.), zu derselben einfachen Beziehung zwischen Dichtigkeit und Spannkraft, welche das mariottische Gesetz kennen lehrt. Allein alle materiellen Theile besitzen ein gegenseitiges Anziehungsvermögen, das bei einer gewissen wechselseitigen Annäherung einen messbaren Einfluss zu äussern beginnt. Diese neue Kraft addirt sich zu dem von Aussen her, wirksamen Druck und bewirkt, dass die Dichtigkeitszunahme mit dem letzteren nicht mehr gleichen Schritt halten kann.

200. Die Umfangsveränderungen, welche gasförmige Körper bei verändertem Drucke erfahren, lassen sich mit Hülfe des mariottischen Gesetzes im Voraus bestimmen. Ein Gasvolum V sey bei dem Drucke B gemessen worden, bei irgend einem andern Drucke b wird es den Umfang v einnehmen, wenn $V : v = b : B$. Daher das gesuchte Volum $v = \frac{V.B.}{b}$

Beispiel: Es sind 1320 C. C. Kohlensäure über Quecksilber in einer Glasglocke (Fig 58.) abgesperrt; der Barometerstand ist 335‴; die Sperrflüssigkeit steht innerhalb der Glocke 23‴ über dem äusseren Niveau; es ist das Volum des Gases bei 336‴ Druck zu bestimmen. Man findet $v = \frac{1320\ (335 - 23)}{336} = 1225{,}7.$

Fig. 58.



Auf gleiche Weise kann man aus der Spannkraft der mittelst einer Luftpumpe verdünnten Luft die Wirksamkeit dieser Maschine, so wie den Grad der Verdünnung erkennen. Die Höhe eines unter die Luftpumpe gebrachten Barometers sey z. B. von 336 auf 1 Linie herabgesunken, so lässt sich hieraus auf eine 336fache Verdünnung schliessen, insofern der innere Raum durch eine austrocknende Substanz, z. B. concentrirte Schwefelsäure, ganz trocken geworden ist. Mit Hülfe der besten Luftpumpen kann man trockne Gase bis zu $^1/_{600}$ und weiter verdünnen.

Fig. 59.

Um den mit der Luftpumpe erreichten Grad der Verdünnung zu messen, bedient man sich gewöhnlich eines abgekürzten Heberbarometers, das den Namen Verdünnungs-Manometer erhalten hat (Fig. 59.).

Aehnliche Apparate, die man gebraucht, um die Spannkraft verdichteter Luft, zu messen, werden Verdichtungs-Manometer genannt; sie haben bald die Gestalt eines Heberbarometers, bald die eines Gefässbarometers, und unterscheiden sich von demselben wesentlich nur dadurch, dass das Rohr oben offen ist; sie zeigen also nur an, um wie viel der innere Druck mehr beträgt als der der äusseren Luft. Der Windmesser der Gebläsemaschinen ist ein Verdichtungs-Manometer, der jedoch gewöhnlich mit Wasser statt mit Quecksilber gefüllt ist. Sicherheitsröhren.

Da die Verdichtung einer gegebenen (z. B. in einem graduirten Glasrohr durch Quecksilber abgesperrten) Luftmenge im geraden Verhältnisse der

verdichtenden Kraft steht, so kann man die Grösse der letzteren, z.B. die Spannkraft eines mittelst der Luftpumpe comprimirten Gases auch aus dem Grade der ersteren ableiten. Messwerkzeuge, deren Einrichtung anf diesem Principe beruht, nennt man ebenfalls Verdichtungs-Manometer.

201. Die unmittelbare Anwendung des mariottischen Gesetzes, um aus dem veränderten äusseren Drucke die Volumsveränderungen eines gasförmigen Körpers abzuleiten, oder umgekehrt, ist nur so lange gestattet, als die Temperatur, wie hoch oder wie niedrig sie übrigens auch seyn mag, sich gleich geblieben ist. Hat ein Gasvolum V das bei der Spannkraft B gemessen ist, seine Temperatur von T^0 auf t^0 geändert, so bezieht sich ein veränderter Druck b, für welchen man das entsprechende Volum v bei der Temperatur t^0 ableiten will, nicht mehr auf das ursprüngliche Volum V, sondern auf das, was aus V durch die Erwärmung oder Abkühlung geworden ist. Man muss daher zuerst setzen (71):

$$273 + T : 273 + t = V : x$$

und dann $x : v = b : B$

Beide Proportionen zusammen geben:

$$v = \frac{(273 + t)\ B.\ V}{(273 + T)\ b} \text{ oder auch } = \frac{1 + 0{,}3665\ t)\ B.\ V}{(+\ 0{,}3665\ T)\ b.}$$

202. Eine Luftmenge V, bei dem Stande B des Barometers und T^0 des Thermometers gemessen, erhält, wenn die Temperatur t^0 geworden, der Luftdruck aber unverändert geblieben ist den Umfang

$$v = \frac{(272 + t)\ V}{(273 + T)}; \quad (201)$$

Soll nun dieses Volumen v, dem also nach Annahme der Druck B zugehört, ohne einen neuen Wechsel der Temperatur auf den früheren Rauminhalt V zurückgeführt werden, so bedarf es hierzu eines Druckes b, von der Grösse, dass $b : B = v : V$; also

$$b = \frac{v.\ B}{V} = \frac{273 + t}{273 + T}.B$$

Befindet sich die Luftmenge V in einem Behälter mit festen Wänden eingeschlossen, so dass sie bei eingetretener Temperaturveränderung sich weder ausdehnen noch zusammenziehen kann, so ändert sich ihre Spannkraft, gerade so, als wäre sie erst nach dem Wechsel der Temperatur und nachdem sie den Umfang v angenommen hatte, dem Drucke b ausgesetzt und dadurch auf den früheren Rauminhalt V zurückgebracht worden; d. h. Wenn ein gasförmiger Körper bei stets gleichbleibendem Volume von T^0 zu t^0 erwärmt oder abgekühlt wird, verwandelt sich seine anfängliche Spannkraft B in

$$b = \frac{273 + t}{273 + T}.\ B;$$

oder: die durch Temperaturwechsel bei gleichbleiben-

dem Volume eines Gases veränderten Spannkräfte verhalten sich wie die bei gleichbleibendem Drucke veränderten Volume.

Natürlich kann die Spannkraft der Gase durch Erhöhung der Temperatur nach dem angegebenen Zahlenverhältnisse nur dann zunehmen, wenn das Ausdehnungsgesetz, so wie es in der Rechnung zu Grunde gelegt worden, richtig ist. Aus der Zunahme der Spannkraft bei ungeändertem Volume eines Gases muss sich daher das Gesetz der Ausdehnung mit derselben Sicherheit ableiten lassen, wie aus der Zunahme des Volums bei unverändertem Drucke. Dieser Weg, den Ausdehnungs-Confficient der Luft zu bestimmen, ist zuerst von Rudberg eingeschlagen worden, (Pogg. Ann. 44. 119.) Die Geräthschaft, deren er sich zu seinen Versuchen bediente eignet, sich auch zum Gebrauche als Lufthermometer.

203. Die Wärmemenge, welche ein gasförmiger Körper bei gleichbleibendem Volume zur Erhöhung seiner Temperatur bedarf, ist geringer als seine specifische Wärme unter constantem Drucke (79). Der Unterschied ist gleich derjenigen Wärme, welche das Gas zur Erweiterung seines Volums aufnehmen muss und die von dem Thermometer nicht angezeigt wird, der sogenannten Ausdehnungswärme (88). Wird der Umfang eines Gases plötzlich erweitert, so muss er die erforderliche Ausdehnungswärme, grösstentheils aus seiner eignen freien Wärme schöpfen; es erfolgt daher Erniedrigung der Temperatur. Findet dagegen eine plötzliche Verdichtung statt, so wird ein entsprechender Theil der Ausdehnungswärme frei, und die Temperatur des Gases erhöht sich.

Man bringe unter den Recipienten der Luftpumpe ein empfindliches Thermoscop und erweitere rasch den inneren Raum. Das Thermoscop zeigt sogleich eine Erniedrigung der Temperatur, kehrt aber in Folge des erwärmenden Einflusses der Umgebung bald auf den früheren Stand zurück. Jetzt lasse man durch Oeffnung eines Hahns die äussere Luft rasch einströmen, so dass die in dem inneren Raume bereits enthaltene Luft sich wieder verdichten muss. Das Thermoscop zeigt nunmehr vorübergehend eine Erhöhung der Temperatur. Compressionsfeuerzeug. Nebel im Recipienten der Luftpumpe während des Auspumpens. Die Abkühlung der Luft während der Ausdehnung ist so bedeutend, dass feuchte Luft, die man in einem eisernen Gefässe stark verdichtet hat und dann durch eine nicht zu enge Oeffnung plötzlich ausströmen lässt, an einer vor die Oeffnung gehaltenen Glasplatte Eis in Menge absetzt.

Man hat die Verdichtungswärme der Gase sowohl aus ihrer Temperatur-Erhöhung während der Verdichtung, wie auch aus der in Folge der Erwärmung vermehrten Spannkraft abzuleiten versucht; zu sehr genauen Resultaten konnte man jedoch auf keinem dieser Wege gelangen, weil die den Gasmengen, worüber man bei dergleichen Versuchen verfügen konnte, mitgetheilte Wärme, wegen ihrer, verhältnissmässig zu derjenigen der Gefässwände, stets nur geringen Masse, zu schnell auf die kältere Umgebung überging. Zuverlässigere Resultate hat Dülong auf einem Umwege erhalten, indem er den Einfluss bestimmte, welchen die durch Verdichtung frei werdende Wärme gasförmiger Körper auf die Fortpflanzung des Schalls durch ihre Masse ausübt. Das Nähere dieses Verfahrens kann jedoch erst später erörtert werden. Aus Dülong's Untersuchungen geht hervor, dass die Temperatur-Erhöhung durch eine Verdichtung, oder die Temperatur-Erniedrigung durch eine Ausdehnung von je $\frac{1}{211}$ des ursprünglichen Volums, vorausgesetzt, dass dieses bei 0° und unter 0,76 Metres Druck gemessen sey, beträgt: für atmosphärische Luft, Sauerstoffgas, Wasserstoffgas und vielleicht für alle einfachen Gase 0,421 Grad des hunderttheiligen Thermometers;

ferner für Kohlensäuregas 0°,337; Kohlenoxydgas 0°,423; Stickstoffoxydgas 0°,343; ölbildendes Gas 0°,240. Andere Gase sind nicht untersucht worden.

Nun weiss man, dass die Gase für je 1° Temperatur-Erhöhung sich um $\frac{1}{273}$ ausdehnen; wenn demnach die Wärmecapacität der Luft. bei constantem Volume zu 1 genommen wird, so ist ihre Capacität unter constantem Drucke 1,421. Ebenso findet man das Verhältniss beider Wärmecapacitäten für Kohlensäure wie 1: 1,337 u. s. f. Man kann hiernach leicht berechnen, wie stark sich ein Gas bei plötzlicher Verdichtung oder Ausdehnung erwärmen oder abkühlen muss. Z. B. Atmosphärische Luft bei 0° und unter 0,76 Meter Druck auf die Hälfte ihres Volums, also um $\frac{136,5}{273}$ comprimirt, würde sich ohne den Einfluss der Umgebung auf 136,5. 0,°421=57°,5 erwärmen.

Allgemein findet man, dass die Abweichung von der früheren Temperatur beträgt: $t = \frac{(V - V')}{V} \frac{(273 + T)\ 0{,}76.\ \alpha;}{B}$

wo V das ursprüngliche Volum bei T° nnd unter Barometerdruck, V' das veränderte Gasvolum, α die Wärmeentwicklung für $\frac{1}{273}$ Verdichtung, z. B. bei einfachen Gasen die Zahl 0,421 vorstellt.

Der so gefundene Werth von t lässt sich jedoch nur als eine Annäherung betrachten, weil die Wärmecapacität gleicher Gewichte gasförmiger Körper bei der Verdichtung in einem bis jetzt nicht genau bekannten, aber jedenfalls weit geringeren Verhältnisse als ihr Umfang abnimmt, bei der Verdünnung sich vermehrt (90.).

Dülong wurde durch Vergleichung der von ihm gewonnenen Resultate mit den von Delaroche und Berard ermittelten spec. Wärmen der Gase unter constantem Drucke (79.), ferner zu folgenden einfachen Gesetzen geleitet:

1) Dass alle Gase, wenn man bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke ein gleiches Volumen von ihnen nimmt und plötzlich um einen bei allen gleichen Bruchwerth dieses Volumens zusammendrückt oder ausdehnt, eine gleiche absolute Wärmemenge entwickeln oder verschlucken.
2) Dass die Temperatur-Aenderungen, die daraus erfolgen, sich umgekehrt wie die specifischen Wärmen bei constantem Volume verhalten.

Die spec. Wärme der Gase bei constantem Volume lässt sich zwar nicht direkt bestimmen. Aber, als wahr angenommen, dass aus jedem Gase, bei 0° und unter 0,76 Metres Druck gemessen, durch gleich starke Verdichtung eine gleiche Menge von Wärme ausgepresst und dass die Temperatur der Luft durch Verdichtung von $\frac{1}{237}$ um 0°,421 erhöht wird, folgt: dass die einfachen Gase, bei welchen unter gleichen Umständen eine gleiche Erwärmung wie bei der Luft eintritt, dieselbe spec. Wärme bei constantem Volume, wie die Luft besitzen müssen. Kohlensäure wird durch Verdichtung von $\frac{1}{273}$ nur um 0°,337 erwärmt; da aber gleichwohl, nach Annahme, die Wärmemenge 0,421 ausgepresst worden ist, so muss ihre spec. Wärme bei constantem Volume sich zu derjenigen der Luft verhalten wie 0,421:0,337; d. h. die der Luft zu 1 genommen, ist die des kohlensauren Gases $\frac{0{,}421}{0{,}337} = 1{,}294$. Auf ähnliche Art kann die spec. Wärme eines constanten Volums anderer Gase bestimmt werden.

Addirt man zu der spec. Wärme eines Gases bei constantem Volume die Zahl 0,421, und dividirt dann durch 1,421, so ergibt sich die spec. Wärme unter constantem Drucke, die der Luft wieder = 1 gesetzt. Die so für verschiedene Gase berechneten Werthe stimmen mit den (von Delaroche und Berard) direkt gefundenen spec. Wärmen bei constantem Drucke so nahe überein, dass dadurch die Aufstellung der beiden vorerwähnten Gesetze gerechtfertigt wird. (Pogg. Ann. 16. 471.)

204. Specifisches Gewicht der Gase. Wenn man eine Glaskugel von wenigstens 5—6 Litre Inhalt, die sich mittelst eines Hahns luftdicht verschliessen lässt, mit ganz trockner Luft anfüllt und abwiegt, dann den inneren Raum luftleer macht, so gibt der bei wiederholter Wägung gefundene Gewichtsverlust (193) das Gewicht des früheren Inhaltes an trockner Luft. Füllt man hierauf die luftleer abgewogene Kugel mit einem andern trocknen Gase, so gibt der nunmehr gefundene Gewichtsunterschied das Gewicht eines gleichen Volums dieses anderen Gases. Indem man die auf ähnliche Weise bestimmten Gewichte eines gleichen Volums verschiedener Gase durch das entsprechende Gewicht der Luft dividirt, erhält man ihre specifischen Gewichte, bezogen auf die Luft als Einheit. Z. B. das Gewicht der Luft = 1 gesetzt, findet man

Sauerstoff	1,1026
Stickstoff	0,9760
Wasserstoff	0,0688
Kohlensäure	1,5245

Diese Zahlen gelten für jede Temperatur und für jeden Druck welchem die verschiedenen Gase gleichzeitig ausgesetzt sind, weil alle denselben Ausdehnungs-und Verdichtungsgesetzen unterliegen.

Die Dichtigkeitsverhältnisse der Gase unter einander lassen sich ermitteln, ohne den Rauminhalt des Gefässes zu kennen, worin man sie abgewogen hat. Soll aber die Dichtigkeit eines Gases, mit der des Wassers verglichen werden, oder will man das absolute Gewicht dieses Gases erfahren, so muss der räumliche Inhalt der Glaskugel genau bekannt seyn. Indem man das Gewicht eines bekannten Gasvolums durch dasjenige eines gleichen Volums Wasser dividirt, erhält man das spec. Gewicht des ersteren bezogen auf das Wasser als Einheit. So hat man gefunden, dass die Luft bei 0^0 und unter 336,9‴ Druck 770mal leichter ist, als das Wasser, oder, was dasselbe ausdrückt, dass 1000 C. C. Luft 1,2991 Grm. wiegen. Um zu erfahren, wie viel 1000 C. C. von irgend einem andern Gase wiegen, multiplicirt man das durch Vergleichung mit der Luft gefundene spec. Gewicht desselben mit 1,2991. Das Gewicht eines constanten Gasvolums ändert sich mit der Temperatur und mit dem Luftdrucke. Das einem Thermometerstande T und Barometerstande B zugehörige Gewicht G kann mittelst der Formel:

$$G = \frac{(273 + T)\ 336{,}9}{273\ B}\ g$$

berechnet werden, wenn für g das Gewicht desselben Volums bei 0^0 und unter 336,9‴ Druck gesetzt wird.

Die genaue Ermittlung des specifischen Gewichts eines Gases erfordert, dass dasselbe in chemisch reinem und ganz trocknem Zustande abgewogen werde; die Temperatur, bei welcher die Glaskugel damit angefüllt worden, so wie der Luftdruck müssen genau bekannt seyn. Da es unmöglich ist, ein Glasgefäss mittelst der Luftpumpe ganz luftleer zu machen, so muss hierauf Rücksicht ge-

nommen werden. Angenommen, die Luft im Innern der Glaskugel könnte nur bis zu 2‴ Spannkraft verdünnt werden; durch das eintretende trockne Gas werde diese Spannkraft wieder bis zu 335‴ vermehrt, so kommt hiervon auf Rechnung des eingetretenen Gases nur 335 — 2 = 333‴. Mehrere andere Berichtigungen, wie die wegen des mit der Temperatur veränderlichen Rauminhaltes des Glasgefässes u. s. w., worüber man in Biot, traité de phys. I. 347, das Ausführlichere findet, sind weniger erheblich, und dürfen gewöhnlich unbeachtet bleiben. Der Inhalt der Glaskugel wird entweder mit Quecksilber direkt ausgemessen, oder durch Anfüllen mit chemisch reinem Wasser und Abwiegen bestimmt.

Beispiel: Eine Glaskugel (A) bei 20,5° und unter 0,755 mtre Druck mit trockner Luft (l) gefüllt, wog . . . . . A + l = 567,949 Grm.
Dieselbe Kugel mit reinem Wasser (w) von derselben Temperatur gefüllt, wog . . . . . A + w = 6133,162 Grm.
Dieselbe Kugel luftleer bis zu 0,005 mtre Pressung, wog A + α = 561,291 Grm.

Nun ist der Unterschied der ersten und dritten Wägung l — α = 6,658 : l = 0,75 : 0,755; (198). Daher der ganze Inhalt an trockner Luft $l = \frac{6,658 \cdot 0,755}{0,75}$ = 6,702 Grm. Das Gewicht des leeren Gefässes A = 567,949 — 6,702 = 561,247 Grm. Das Gewicht des Wassers w = 6133,162 — 561,247 = 5571,915 Grm. Ein Gramme Wasser bei 20,5° ist 1,001698 C. C.; folglich der Inhalt des Behälters 5571,915 . 1,001698 = 5581,375 C. C.

Man findet hieraus das Gewicht von 1000 C. C. Luft bei 20,5° und 0,755 mtre oder $G = \frac{6,702 \cdot 1000}{5581,375}$

Das Gewicht desselben Volums Luft bei 0° und 0,76 mtre erhält man dann mit Hülfe der oben angegebenen Formel g = 1,2995 Grm.

205. Man kann in vielen Fällen die Richtigkeit der Gaswägungen durch Rechnung controlliren. Diese Controlle gründet sich auf folgende Erfahrungsgesetze:

1) **Die specifischen Gewichte der einfachen Stoffe, wenn diese in Gasform darstellbar sind, auf den Sauerstoff als Einheit bezogen (d. h. durch 1,1026 dividirt), sind den durch die chemische Analyse gefundenen Atomgewichten derselben Stoffe, ebenfalls auf den Sauerstoff als Einheit bezogen, entweder gleich, oder stehen doch zu denselben in einfachen Zahlenverhältnissen. Indem man also umgekehrt das Atomgewicht eines einfachen Gases mit 1,1026 (dem spec. Gew. des Sauerstoffs) multiplicirt, muss eine Zahl gefunden werden, die entweder das gesuchte spec. Gew. selbst ist, oder die Hälfte davon, oder das Doppelte u. s. w.**
2) **Wenn sich gasförmige Körper verbinden und wenn diese Verbindung wieder gasförmig ist, so ist das Volumen derselben entweder gleich der Summe der Volume der Bestandtheile, oder für den Fall, dass eine Verdichtung stattgefunden hat, steht das Volumen der Verbindung zur Summe der Volume der Bestandtheile immer in einem ziemlich einfachen Zahlenverhältnisse.**

Beispiele: Das specifische Gewicht des Chlorgases ist von Gay Lüssac und Thénard zu 2,47 gefunden worden. Sein durch chemische Untersuchungen mit weit grösserer Sicherheit festgestelltes Atomgewicht beträgt 2,21326. Diese Zahl mit 1,1026 multiplicirt, gibt 2,440 als das richtige specifische Gewicht.

Das specifische Gewicht des Ammoniakgases nach der Wägung von Biot und Arago ist 0,5967.

Dieses Gas ist zusammengesetzt aus 2 Vol. Stickstoff = 2 . 0,9760 = 1,9520
und 6 „ Wasserst. = 6 . 0,0688 = 0,4128

Die Summe dieser beiden Bestandtheile 2,3648

durch 4 dividirt, gibt 0,5912; woraus man sieht, dass die 8 Gasvolume sich zu 4 Volumen Ammoniak verbunden haben müssen, und dass das richtigere specifische Gewicht dieses Gases 0,5912 beträgt.

Durch diese Controll-Rechnung wird man also in den Stand gesetzt, auch aus annähernd richtigen Wägungsversuchen das wahre spec. Gewicht eines Gases abzuleiten.

206. Die ungleiche Dichtigkeit verschiedener Gase unter gleichem äusseren Drucke (oder bei gleicher Spannkraft, die sie selbst ausüben), beweist eine ungleiche Expansivkraft ihrer kleinsten Theile. Die Atome des Wasserstoffs z. B. besitzen ein 16mal so grosses wechselseitiges Abstossungsvermögen als die Atome des 16mal dichteren Sauerstoffs; oder bei gleicher Dichtigkeit ist die Spannkraft des ersteren Gases die 16fache von derjenigen des letzteren. Das Verhältniss der Expansivkraft der kleinsten Theile verschiedenartiger Gase wird specifische Expansivkraft oder specifische Elasticität genannt. Es ist einleuchtend, dass die spec. Elasticitäten zweier Gase sich verkehrt wie ihre spec. Gewichte bei gleicher Temperatur und unter gleichem Drucke verhalten.

Temperatur-Erhöhung vermehrt die specifische Elasticität eines Gases, durch Abkühlung wird sie vermindert.

207. Die Körper verlieren in der Luft, gleich wie in jeder schweren Flüssigkeit, einen Theil ihres Gewichtes, und zwar genau so viel, als die verdrängte Luft wiegt. Hat man z. B. eine zugeschmolzene Glasblase von 3 — 4 Zoll Durchmesser an einer kleinen, aber empfindlichen Wage ins Gleichgewicht gebracht und setzt sie dann sammt der kleinen Wage unter den Recipienten der Luftpumpe, so wird während des Auspumpens auf der Seite der Blase ein Ausschlag entstehen. Lässt man die Luft wieder zu, so stellt sich auch das Gleichgewicht wieder her.

Um das wahre Gewicht eines Körpers zu erhalten, muss daher seinem scheinbaren Gewichte, so wie es in der Luft gefunden ist, dasjenige eines gleichen Volums Luft hinzugefügt werden. Da diese Additionsgrösse bei den specifisch leichten Körpern verhältnismässig am meisten ausmacht, so können die spec. Gewichte der Körper keine ganz richtige Vergleichung ihrer wahren Gewichte geben, wenn sie nicht auf den Gewichtsverlust in der Luft reducirt sind (178).

Bei unseren Wägungsversuchen befinden sich zwar die Gewichtssteine eben so wohl wie die zu wägenden Stoffe in der Luft; da jedoch unsere Gewichtseinheiten ganz willkührlich angenommene Grössen sind, so kommt der Gewichtsverlust der Gewichts-

steine in der Luft selten in Betracht; ja er würde ganz und gar ohne Einfluss seyn, wenn die Luft stets einerlei Dichte besässe.

Man nenne G das Gewicht eines Körpers in der Luft, G' sein Gewicht im Wasser; l das Gewicht eines gleichen Volums Luft von der Dichtigkeit δ; w das Gewicht eines gleichen Volums Wasser. Der Unterschied G — G' gibt nicht den wahren Gewichtsverlust im Wasser (w), sondern diesen Verlust, weniger den in der Luft, d. h. w — l.

Man findet aber w durch die Betrachtung: dass G — G' sich zu w verhält, wie der Unterschied der Dichtigkeiten des Wassers und der Luft, zur Dichtigkeit des Wassers. Daher $w = \frac{G - G'}{1 - \delta}$

Ebenso findet man l aus der Proportion $(1 - \delta) : \delta = G - G' : \left(l = \frac{(G - G'\delta)}{1 - \delta}\right)$

Das wahre specifische Gewicht eines Körpers ist dann $\frac{G + l}{w}$ oder $\frac{G - G'\delta}{G - G'}$

Auf ähnliche Weise lässt sich der wahre Inhalt von Gefässen, die nicht luftleer abgewogen werden können, durch Rechnung bestimmen. Z. B. ein Glasgefäss mit Luft gefüllt, wog G = 35,234 Grm., dasselbe mit reinem Wasser gefüllt, G' = 256,143 Grm. Das wahre Gewicht des enthaltenen Wassers ist demnach $w = \frac{256{,}143 - 35{,}234}{1 - 1/770} = \frac{220{,}909.770}{769} = 221{,}196.$

Auf dem Gewichtsverluste der Körper in der Luft beruht Otto von Guerike's Luftwage (von ihm selbst Manometer genannt), ein Instrument, das bestimmt ist, Aenderungen in der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft anzuzeigen. Es besteht aus einer grossen verschlossenen Glaskugel, die am einen Ende eines empfindlichen Wagebalkens angehängt ist und mittelst eines Gegengewichtes im Gleichgewichte steht (Gehl. 6. 1198.).

208. Körper welche leichter sind als die Luft werden in derselben durch eine Kraft aufwärts getrieben, welche gleich ist dem Unterschiede ihres eignen Gewichtes und dem der verdrängten Luft (176). Aufsteigen erwärmter Luft, des Rauchs; Luftschifffahrt.

Der Luftballon (Aërostat) besteht im Wesentlichen aus einer nahe kugelförmigen, sehr leichten, luftdichten Hülle (gewöhnlich Goldschlägerhaut für die ganz kleinen, gefirnisster Taffet für die grösseren Aërostaten), die mit einem Gase von geringerer Dichtigkeit als die atmosphärische Luft gefüllt ist. Bei den zur Luftschifffahrt (Aëronautik) bestimmten Aërostaten ist diese Hülle mit einem Netze von Schnüren umgeben, welche unten in eine Anzahl Stränge auslaufen, woran eine sehr leichte Gondel befestigt ist. Die Steigkraft des Luftballons wurde zuerst durch Erwärmung der inneren Luft bewirkt. Man fand es aber bald vortheilhafter, den inneren Raum mit Wasserstoffgas zu füllen. Neuerdings hat Green in London das durch Destillation der Steinkohlen gewonnene Kohlenwasserstoffgas hierzu verwendet.

Die festen Theile des Luftballons sind zwar weit schwerer als die atmosphärische Luft; da jedoch die Räume zweier Kugeln im Verhältnisse der Kuben ihrer Durchmesser, ihre Oberflächen nur im Verhältnisse der Quadrate ihrer Durchmesser stehen, so kommt man durch Vergrösserung der Dimensionen bald zu einem Verhältnisse, wobei das Gewicht des Ballons sammt dem des eingeschlossenen Gases weniger beträgt, als dasjenige der verdrängten Luft.

Das zum Füllen der Aërostaten verwendete Wasserstoffgas lässt sich in so grosser Menge nicht in reinem Zustande gewinnen. Man schätzt seine Dichtigkeit zu $\frac{1}{7}$ von derjenigen der Luft. Nimmt man nun den K. F. Luft zu 42 Grm., also den K. F. Wasserstoffgas zu 6 Grm., so lassen sich, da ein Q. F. des ge-

fnissten Taffet 22,5 Grm. wiegt, für die mit Wasserstoffgas gefüllten Luftbälle nachfolgende Verhältnisse berechnen.

Durchmesser der Hülle von Seidenzeug.	Gewicht	Gewicht des enthaltenen Wasserstoffgases	Steigkraft.
1 Par. F.	70,65 Grm.	3,14 Grm.	— 51,8 Grm.
10 „ „	7 Kilogr.	3,14 Kilogr.	+ 11,76 Kilogr.
25 „ „	44 „	49 „	250 „
50 „ „	176 „	392 „	2177 „
100 „ „	706 „	3138 „	18122 „

Bei den mit Kohlenwasserstoffgas gefüllten Luftballons soll die Steigkraft 30—40 Procent weniger betragen als bei der Anfüllung mit Wasserstoffgas.

Die für die Luftschifffahrt bestimmten Aërostateu werden nur zu $^3/_4$ ihres wirklichen Inhaltes mit Gas gefüllt, weil wegen des in der Höhe abnehmenden Luftdruckes das innere Volum sich vergrössern muss. Ueberdies befindet sich am obern Ende eine Klappe, welche durch eine Feder zugehalten wird, mittelst eines in die Gondel herabreichenden Fadens aber geöffnet werden kann, so oft während des Aufsteigens in Folge zu starken Anschwellens des Ballons ein Zerplatzen desselben zu befürchten steht. Diese Klappe dient auch zur Regulirung der Steigkraft, denn sobald man sie öffnet, wird durch das entweichende Gas der Ballon relativ schwerer und beginnt zu sinken. Um ihn wieder zum Steigen zu bringen, erleichtert man ihn durch Auswerfen von Ballast, z. B. von Sand, der eigends zu diesem Zwecke mitgenommen wird. Es ist noch nicht gelungen, auf gleiche Weise auch die horizontale Bewegung des Luftballons zu beherrschen, welche bis jetzt so ziemlich von der Richtung des Windes abhängt, und daher häufig eine sehr grosse Geschwindigkeit besitzt. Ein im Jahr 1804 zu Gröningen aufgestiegener Ballon fiel nach 12 Stunden bei Halle nieder; ein anderer, der sich in demselben Jahre zu Paris erhob, sank nach 22 Stunden unweit Rom.

Das erste Luftschiff liessen die Gebrüder Stephan und Joseph Montgolfier den 5. Juni 1783 bei Annonay steigen, in dem sie die Luft in dem innern Raum erwärmten; daher der Name Montgolfière. Am 15. October desselben Jahres stieg Pilatre de Rozier in einer Montgolfière zum erstenmal in die Luft. Die wegen ihrer reichen wissenschaftlichen Ausbeute merkwürdigsten Luftreisen sind die am 24. August 1804 von Biot und Gay-Lüssac gemeinschaftlich und am darauf folgenden 16. September von Gay-Lüssac allein unternommenen (Gehler's Wörterb. I. S. 519).

Das Aufsteigen erwärmter und dadurch ausgedehnter Luft in der kälteren erklärt, warum Luftmassen, selbst von bedeutendem Umfange, ungeachtet ihres sehr schlechten Leitvermögens sich ziemlich schnell erwärmen lassen, wenn die Wärme von unten einwirkt.

In grösseren erwärmten Räumen, z. B. in unseren Wohnzimmern im Winter, besitzen stets die obersten Luftschichten die höchste Temperatur, und diese erniedrigt sich allmählig nach dem Boden hin. Der Grund ist, weil die durch Berührung mit dem heissen Ofen warm gewordene Luft, sogleich in die Höhe steigt und sich dann der Decke des Zimmers entlang über die darunter befindliche weniger warme Luftschicht ausbreitet, während die durch Berührung mit den kalten Fenstern und Wänden abgekühlte Luft sogleich niederfällt und über den Boden des Zimmers hinfliesst. Um die Luft in einem Zimmer durchwärmen zu können, muss daher von dem Ofen warme Luft in solcher Menge aufsteigen, und sich an der Decke hin ausbreiten, dass die zuerst aufgestiegenen Mengen, durch die nachfolgenden und über sie hinströmenden, genöthigt werden sich zu senken, bevor sie einen grossen Theil der an sie übergegangenen Wärme an die kältere Umgebung abzusetzen vermochten.

Um die Temperatur eines erwärmten Zimmers gleichförmig zu erhalten, ist nur erforderlich, dass fortwährend von dem Ofen so viel warme Luft sich er-

hebt, als kalte an den Wänden niedersinkt. Man sieht leicht, dass diese fortdauernde Circulation um so vollständiger eintreten und sich über alle Luft im Zimmer bis auf die tiefsten Schichten erstrecken muss, je näher am Boden die Erwärmung vor sich geht.

Die Erwärmung der äusseren atmosphärischen Luft geschieht zwar nicht ausschliesslich, aber doch hauptsächlich durch die Berührung mit der durch die Sonnenstrahlen erwärmten Erdoberfläche. Da nun die Erde nicht überall und auch an demselben Orte nicht zu jeder Zeit eine gleiche Temperatur besitzt, so müssen in der Atmosphäre ähnliche Luftströmungen entstehen, wie in einem Zimmer unter dem Einflusse der Ofenwärme. Die Winde, insbesondere die regelmässigen Winde verdanken wesentlich solchen Ursachen ihre Entstehung.

Die Erfahrung lehrt, dass die Wärme der Erdoberfläche durch die aufsteigende Luft zu sehr beträchtlichen Höhen geführt wird. Da jedoch die Luft, während sie sich erhebt, wegen des in den höhern Schichten der Atmosphäre verminderten Drucks, allmählig ihr Volum vergrössern, also einen Theil ihrer freien Wärme binden muss, so ergibt sich als nothwendige Folge, nach oben hin eine allmählige Abnahme der Temperatur.

Es sey B der Barometerstand, T° die Temperatur der Luft an der Erdoberfläche. Diese Luft werde, indem sie bis zu einer Höhe steigt, in welcher die Spannung b herrschend ist, bis zu $t°$ abgekühlt. Nun nimmt ein Volum Luft bei 0°, wenn die Temperatur $t°$ wird, 1,421 t und wenn die Temperatur T° wird, 1,421 T Wärme auf, die specifische Wärme bei constantem Volume gleich 1 gesetzt (203). Die in Folge einer Volums-Erweiterung eingetretene Temperatur-Erniedrigung von T° zu $t°$, entspricht also einer Quantität gebundenen Wärme 1,421 (T — t).

Wenn die Volums-Einheit, bei 0° und unter 336,9‴ Druck gemessen, der veränderten Temperatur T° und dem Druck B ausgesetzt wird, verwandelt sich das Volum 1 in $\frac{(273 + T)\ 336{,}9}{273 . B}$; die Umfangsvergrösserung ist folglich $\frac{(273 + T)\ 336{,}9}{273 . B} - \frac{273\ B}{273 . B}$; die derselben entsprechende Ausdehnungswärme hält die Luft bei dem an der Erdoberfläche herrschenden Barometerstande B und der herrschenden Temperatur T° bereits gebunden.

Der Luftdruck soll aber in einer gewissen Höhe, nach Annahme bis zu b‴ sinken, und dadurch die Temperatur $t°$ entstehen; die entsprechende Erweiterung des Volums 1 ist $\frac{(273 + t)\ 336{,}9 - 273 . b}{273 . b}$. Da nun die Luft einen Theil der für diese Volumsvergrösserung nöthigen Ausdehnungswärme bereits enthält, so kann die Abkühlung von T° zu $t°$ und die Bindung der Wärmemenge 1,421 (T—t) nur von dem Unterschiede beider Vergrösserungen des Volums 1 abhängig seyn. Setzt man diesen Unterschied $= \frac{n}{273}$ des Umfangs der Luft bei 0° und unter 336,9‴ Druck, so lässt sich die während der Temperatur-Erniedrigung durch Ausdehnung gebundene Wärme auch durch 0,421 n bezeichnen. Es ist daher

$$1{,}421\ (T - t) = 0{,}421 \left(\frac{(273 + t)\ 336{,}9 - 273 b}{b} - \frac{(273 + T)\ 336{,}9 - 273\ B}{B} \right)$$

Gleichung, woraus sich die durch die Erhebung warmer Luft erniedrigte Temperatur t derselben leicht berechnen lässt.

Beispiele: Es sey B = 336,9; T = 15; b = 324‴ so findet man t = 12,5°
b = 228 so findet man t = — 13°

Diese Temperatur-Erniedrigungen müssten eintreten, wenn die Luft ganz trocken wäre und ausschliesslich nur durch Berührung mit der Erde erwärmt würde.

209. Höhenmessen mit dem Barometer.

Auf die Abnahme des Barometerstandes bei zunehmender Höhe des Beobachtungs-

ortes gründet sich das Höhenmessen mit dem Barometer. Die Dichtigkeit, trockner Luft bei 0^0 und unter 336,9‴ Druck verhält sich zu der des Quecksilbers bei 0^0 wie 1 : 10467, oder wenn die Luft irgend eine andere Temperatur t^0 besitzt, wie $1 : \frac{10467(273+t)}{273}$ Hiernach ist z. B. der Druck einer Quecksilbersäule von 1 Linie Höhe gleich dem einer Luftsäule von 76,7 Fuss bei 15^0 mittlerer Temperatur. Fände man daher, dass an einem oberen Beobachtungsorte das Barometer um 1 Linie tiefer steht, als am unteren, so würde der Höhenunterschied beider Stationen 76,7 Fuss betragen müssen Auf ähnliche Weise würde man aus dem Unterschiede zweier gleichzeitig beobachteten Barometerstände den senkrechten Höhenunterschied der beiden Beobachtungsorte durch eine ganz einfache Rechnung ableiten können, wenn die Atmosphäre überall gleiche Dichtigkeit besässe. Da aber diess nicht der Fall ist, da z. B. eine Senkung von 10 Linien Quecksilber einer grösseren Erhebung als der von 10mal 76,7 Fuss Luft entspricht, so müssen wir vorerst untersuchen, nach welchem Gesetze die Quecksilbersäule des Barometers bei zunehmender Höhe des Beobachtungsortes sich erniedrigt.

Man denke sich zu diesem Zwecke die Atmosphäre in eine Anzahl gleich hoher über einander liegender Schichten abgetheilt. Die Dichtigkeit der Luft ändert sich von einer Schicht zur andern; innerhalb der Gränzen jeder einzelnen kann sie aber überall als gleich vorausgesetzt werden, sobald man nur ihre Höhe sehr gering annimmt. Diese Höhe sey: $h = \frac{\alpha}{\delta}$, wo α eine sehr kleine Quecksilberhöhe (z. B. von 0,01‴) vorstellt, um welche sich der Barometerstand von 336,9‴ erniedrigt, wenn das Instrument, bei t^0 Lufttemperatur auf die Höhe h getragen wird; δ bezeichnet die Dichtigkeit der Luft bei t^0 und unter 336,9‴ Druck. Bei irgend einem andern Barometerstande b, aber sonst gleichen Umständen, wird das Gewicht derselben Lufthöhe h dem einer kleinen Quecksilbersäule von $\frac{\alpha b}{336,9}$ Linien gleich seyn; denn die Gewichte gleicher Lufträume (gleich hoher Luftsäulen) verhalten sich wie die Barometerstände. Es seyen nun $b^{\prime}$; $b^{\prime\prime}$; $b^{\prime\prime\prime}$; $b^{\prime\prime\prime\prime}$ ... b^{n} die Barometerstände je am Anfange der auf einander folgenden gleich hohen Schichten. Das Gewicht der ersten Schicht ist $\frac{\alpha b^{\prime}}{336,9}$, daher

$$b^{\prime\prime} = b^{\prime}\left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)$$

Das Gewicht der zweiten Schicht ist $\frac{\alpha b^{\prime\prime}}{336,9} = \frac{\alpha b^{\prime}}{336,9}\left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)$

Daher $b''' = b' \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)\left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right) = b' \left(1 - \frac{\alpha}{366,9}\right)^2$.

Das Gewicht der dritten Schicht ist $\frac{\alpha\, b'''}{336,9} = \frac{\alpha\, b'}{336,9}\left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)^2$.

Daher $b^{IV} = b' \left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)^2\left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right) = b'\left(1 - \frac{\alpha}{336,9}\right)^3$.

Man sieht deutlich, dass die auf einander folgenden Barometerstände eine fallende geometrische Reihe bilden, deren Coefficient die Grösse $1 - \frac{\alpha}{336,9} = \frac{336,9 - \alpha}{336,9}$ ist.

Es ergiebt sich daher der Barometerstand am Anfange irgend einer n^{ten}_{n} Schicht $b^n = b'\left(\frac{336,9 - \alpha}{336,9}\right)^{n-1}$.

Dem Unterschiede dieser beiden Barometerstände entspricht der Druck von $n - 1$ Luftschichten, oder die Lufthöhe $H = (n - 1)\, h$. Da nun für $\alpha = 0,01$ u. $\delta = \frac{273}{10467\,(273+t)}$ folgt: $h = \frac{0,01\,(273+t)\,10467}{273}$

da ferner $n - 1 = \frac{\log b' - \log b^n}{\log 336,9 - \log (336,9 - \alpha)} = 77574 \log \frac{b'}{b^n}$

so findet man den Höhen-Unterschied der beiden Stationen, an welchen die Barometerstände b' und b^n beobachtet worden sind in Pariser Fussen ausgedrückt:

$$H = \frac{0,01\,(273 + t)\ 10467}{273.\ 144} \times 77574 \log \frac{b'}{b^n}$$

$$= 206,545\ (273 + t)\ \log \frac{b'}{b^n}$$

Der Gebrauch dieser Formel setzt voraus, dass die Barometerstände b' und b^n auf 0^0 reducirt sind, und dass für t die mittlere Temperatur der Luftsäule H gesetzt werde. Das Mittel der Lufttemperatur an der oberen und unteren Station betrachtet man gewöhnlich als genügenden Annäherungswerth für t.

Beispiel: Im August 1805 beobachteten Humbold, Buch und Gay-Lüssac auf dem Vesuve, am höchsten Rande des Kraters, bei $14,4^0$ Lufttemperatur den Barometerstand von $293,9'''$. Gleichzeitig war zu Portici, 7 Toisen über dem Meere, der Barometerstand von $337'''$ bei 22^0 Lufttemperatur beobachtet worden. Es ist in diesem Falle $b' = 335,68$; $b'' = 293,14$; $t = \frac{22 + 14,4}{2} = 18,2$; $H =$ 3539,7 Par. Fuss.

Es lassen sich bei der Höhenmessformel einige Verbesseruugen anbringen, durch Berücksichtigung des Einflusses der Luftfeuchtigkeit, so wie der abnehmenden Schwere der Luft bei vertikaler Erhebung, und ihrer zunehmenden Schwere bei zunehmender Breite des Beobachtungsortes. Diese Verbesserungen

sind jedoch meistens von viel geringerer Bedeutung als die unvermeidlichen Beobachtungsfehler.

Barometrische Höhenmessungen, um Anspruch auf Genauigkeit machen zu können, erfordern grosse Umsicht und Uebung, und namentlich auch eine richtige Auswahl der Zeit. Bei regnerischer Witterung, bei stark bewegter Luft wird man nicht leicht brauchbare Beobachtungen erhalten. — Das Instrument selbst anlangend, ist das Erforderliche bereits Seite 120 bemerkt worden Hinsichtlich der Bequemlichkeit im Gebrauche auf grösseren Reisen eignet sich das Gay-Lüssac'sche Barometer vorzugsweise (Handw. d. Ch. u. Ph. I, S. 683).

Noch bequemer zu transportiren ist das sogenannte Differentialbarometer, in der Gestalt, welche dasselbe neuerdings von Kopp erhalten hat. (Pogg. Ann. 56, S. 513.)

Dieses Instrument, dessen erster Erfinder August ist, gibt jedoch den Barometerstand nicht unmittelbar durch die Beobachtung, sondern erfordert stets die Anstellung eines Experimentes. In der Hand des Geübten kann es gleichwohl eine, vielleicht in den meisten Fällen hinlängliche Genauigkeit gewähren.

VI. Bewegungsgesetze flüssiger Körper.

210. Die Flüssigkeiten sind zwar im Allgemeinen denselben Bewegungsgesetzen wie die festen Körper unterworfen. Da aber ihre Theile in Folge der ihnen eigenthümlichen Beweglichkeit dem Einflusse eines äusseren Drucks nach jeder Richtung mit gleicher Leichtigkeit ausweichen können, so ergeben sich gewisse, den Flüssigkeiten eigenthümliche, wenn auch von den allgemeinen Bewegungsgesetzen abhängige Bewegungs-Erscheinungen. Diese Erscheinungen nun sind es, um deren Darstellung es sich jetzt handelt.

Ausfluss tropfbarer Flüssigkeiten aus Behältern.

211. Tropfbare Flüssigkeiten ergiessen sich durch Oeffnungen von jeglicher Form und Grösse, die man an dem Boden oder den Seitenwänden der Behälter anbringt. Die Ursache des Ausflusses ist der auf die Fläche der Oeffnung wirkende hydrostatische Druck.

212. Aus Oeffnungen von gleichem Quadratinhalte, die in gleich dicke Wände desselben Behälters eingeschnitten sind und deren Mittelpuncte (Schwerpuncte) sich in gleicher Tiefe unter dem Spiegel befinden, strömen in gleicher Zeit gleiche Wassermengen aus.

Dieses Ergebniss der Erfahrung erklärt sich leicht dadurch, weil, so oft die erwähnten Bedingungen stattfinden, auf jede Oeffnung ein ganz gleicher Druck wirksam ist.

Bei Versuchen über den Ausfluss des Wassers pflegt man der Bequemlichkeit willen die Oeffnungen an den Seitenwänden anzubringen. Die aus solchen Versuchen gezogenen Schlüsse können gleichwohl eine ganz allgemeine Geltung haben.

213. Aus engen Oeffnungen von ungleichem Quadratinhalte, jedoch gleicher Tiefe ihrer Schwerpuncte unter dem Spiegel ergiessen sich ungleiche Wassermengen, die sich verhalten wie die Flächeninhalte der Oeffnungen.

214. Bei zunehmender Tiefe der Oeffnung unter dem Wasserspiegel nimmt auch die Ausflussmenge zu, und zwar verhalten

sich für verschiedene Tiefen die Ausflussmengen fast genau wie die Quadratwurzeln aus den lothrechten Entfernungen des Mittelpunctes der Oeffnung unter dem Spiegel, oder, was dasselbe sagt: wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen.

Man muss hieraus schliessen, dass auch die Ausflussgeschwindigkeiten sich wie die Wurzeln aus den Druckhöhen verhalten. Um z. B. bei übrigens gleich beschaffener Oeffnung eine doppelte Ausflussmenge, also eine doppelte Geschwindigkeit zu erzielen, wird eine vierfache Wasser-Druckhöhe erfordert.

Dieser Schluss wird durch die beiden folgenden Erfahrungen gerechtfertigt: 1) Man gebe dem ausfliessenden Wasserstrahl eine senkrecht aufwärts gehende Richtung, er wird, wenigstens beim ersten Aufspringen, fast bis zur Höhe des Spiegels steigen. Nun bedürfen senkrecht aufsteigende Körper, um eine gewisse Höhe erreichen zu können, einer Anfangsgeschwindigkeit, welche gerade so gross ist wie diejenige, welche sie beim Falle von derselben Höhe herab erreicht haben würden (112); die Geschwindigkeit des austretenden Wasserstrahls muss folglich so gross seyn, wie wenn jeder Theil desselben von der Höhe des Spiegels herabgefallen wäre; d. h. diese Geschwindigkeit muss proportional seyn der Quadratwurzel aus der Druckhöhe.

2) Ein wagerecht ausfliessender Strahl senkt sich, gleich nachdem er die Oeffnung verlassen hat, nach demselben Gesetze wie jeder frei fallende Körper, ohne dadurch von seiner wagerechten Geschwindigkeit einzubüssen (155). Die Ausflussgeschwindigkeit muss sich daher bestimmen lassen, indem man die Zeit, während der sich der Strahl um eine gewisse Tiefe in der lothrechten Richtung gesenkt hat, nach den gewöhnlichen Fallgesetzen berechnet (108) und den gefundenen Werth in den gleichzeitig beschriebenen wagerechten Weg dividirt. Die auf diese Weise für ungleiche Druckhöhen gefundenen Geschwindigkeiten verhalten sich ebenfalls wie die Wurzeln aus den Druckhöhen.

Um die Ausflussgesetze des Wassers in Vorlesungen zu erläutern, eignet sich als Behälter ein Kasten von Holz von etwa 3 Fuss Höhe und 8 bis 12 Zoll Weite, der mit Blech gefüttert ist und sich unten in seiner ganzen Breite zu einem 3 bis 4 Zoll hervorragenden Ansatz erweitert. In die wagerechte Oberfläche dieses Ansatzes kann eine dünne Platte von Messing eingeschoben werden; ein ähnlicher Schieber befindet sich an der senkrechten Vorderwand des Ansatzes. Oeffnungen von beliebiger Weite sind entweder unmittelbar in die dünnen Messingplatten eingeschnitten oder können in Form von Mundstücken eingeschraubt werden. Den Stand des Spiegels im Behälter beobachtet man mittelst eines Schwimmers *s* von lackirtem Holz oder von Messingblech; derselbe trägt eine dünne Stange *s a* von der Höhe des Behälters, an deren oberem Ende eine ähnliche Stange rechtwinklicht befestigt ist, in einem Einschnitte der letzteren bei *b* ist der Zeicher *b c* auf und nieder verschiebbar und kann folglich immer so gestellt werden, dass die dünne Scheibe *c* am untern Ende desselben die Höhe des Spiegels zeigt.

Lässt man das Wasser durch eine Oeffnung von nicht weniger als 2 — 3 Linien Weite austreten, welche in den wagrechten Schieber eingeschnitten ist, so erreicht der lothrecht aufsteigende Strahl zwar niemals die in die Höhe des Spiegels gestellte Scheibe c, allein sein Zurückbleiben beträgt wenigstens beim ersten Aufspringen nicht viel mehr als 1 Procent der jedesmaligen Druckhöhe; ein Unterschied, der ohne Bedenken dem Einflusse der unvermeidlichen Bewegungshindernisse beigemessen werden darf. Bei der Fortdauer des Versuches erhält sich die Sprunghöhe, wegen des zurückfallenden Wassers, nicht constant, und bleibt aus demselben Grunde immer beträchtlich unter der Höhe des Spiegels zurück.

Aus der lothrechten Sprunghöhe des Wassers hat Toricelli zuerst die wahre Grösse der Ausflussgeschwindigkeit abgeleitet.

Die durch Beobachtung gefundene Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers lässt sich bei gehöriger Berücksichtigung der allgemeinen Fallgesetze auf befriedigende Weise erklären. So oft nämlich eine, wenn auch noch so klein gedachte Wassermenge, z. B. $\frac{1}{n}$ der über der Oeffnung stehenden flüssigen Säule ausgeströmt ist, hat sich die letztere in der Richtung der Schwere um $\frac{1}{9}$ ihrer Höhe senken müssen; es ist also ein Bewegungseffect verwendet worden, dessen Maass $\left(G.\frac{1}{n} H \right)$ erhalten wird, indem man das Gewicht der auf die Fläche der Oeffnung drückenden Wassersäule (G) mit dem Wege $\left(\frac{1}{n} H \right)$ multiplicirt, den sie zurücklegen musste. Dieser Bewegungseffect ist aber genau so gross, wie der eines Gewichtes $\frac{1}{n}$ G, das von der ganzen Druckhöhe H herabgefallen ist (120); jedes ausfliessende Wassertheilchen muss folglich eine Geschwindigkeit annehmen, welche gleich derjenigen eines frei fallenden Körpers durch die Formel $V = \sqrt{2cH}$ ausgedrückt werden kann (108), insofern nicht durch Widerstände ein Theil des bezeichneten Bewegungseffectes aufgezehrt wird.

Es ist übrigens einleuchtend, dass das Wasser die Geschwindigkeit, womit es ausfliesst, nicht plötzlich (113), sondern nur durch allmähligen Zuwachs erlangt, und dass die flüssigen Theile während dieser Zeit und unter dem Einflusse eines fortdauernden Drucks eine gewisse Strecke Wegs mit beschleunigter Bewegung zurücklegen müssen. Demnach besitzen die bereits in den Bewegungszustand übergegangenen, auf einander folgenden und mit der Fläche der Oeffnung parallelen Wasserschichten sehr ungleiche Geschwindigkeiten; sie müssten sich also von einander trennen, und der Druck des fast ruhenden Wassers im Behälter könnte sich nicht durch die ganze Reihe fortpflanzen, wenn nicht die vorderen, in dem Maasse, als ihre Geschwindigkeit sich vermehrt, an Flächenraum abnehmen und dadurch wieder an Dicke zunehmen könnten. Man sieht hieraus, dass für die Bedingung eines ganz gleichförmig fortwirkenden Drucks der über der Oeffnung stehenden flüssigen Säule H, diese Oeffnung, oder eigentlich derjenige Theil des Behälters, worin die Bewegung der Wassertheile beschleunigt wird, eine gewisse Länge und eine von Innen nach Aussen abnehmende Weite haben muss. Die Gesetze der gleichförmig beschleunigten Bewegung lehren, dass obiger Bedingung genügt werden kann, wenn der Behälter in ein Mundstück, wie Fig. 61, ausgeht, dessen Gestalt aus der Gleichung $x\,y^4 = a^5$ abgeleitet wird. Die Linie Y Y′ bedeutet die ebne Wandfläche des Behälters, die Linie A X (die Axe der Oeffnung) zeigt die Richtung an, nach welcher die parallelen Wasserschichten mit beschleunigter Bewegung fortschreiten; x bezeich-

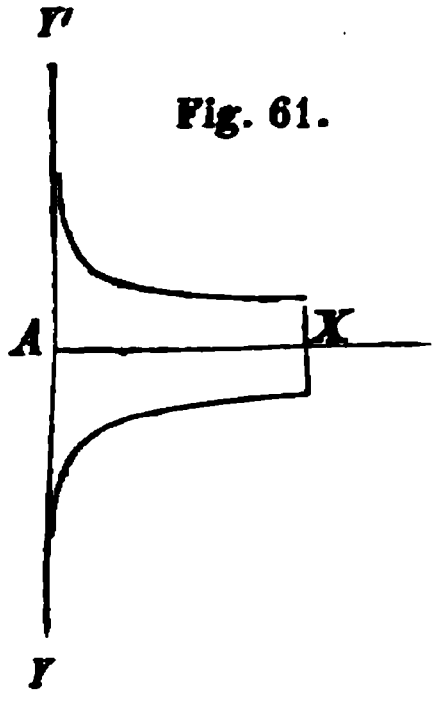


Fig. 61.

net den Weg, den eine beliebige dieser Schichten bereits zurückgelegt hat; y^2 den zugehörigen Querschnitt des Mundstücks. Die Querschnitte des Mundstücks an verschiedenen Stellen verhalten sich nämlich umgekehrt, wie die Geschwindigkeiten von denselben Stellen. Hiernach nun lässt sich die Gestalt des Rohrs leicht bestimmen. Man findet, dass es nach vorne hin schon in der geringen Entfernung $x = 2\,a$ fast cylindrisch wird, dass folglich in derselben Entfernung das Wasser eine beinah schon gleichförmige Geschwindigkeit angenommen hat. Macht man das Mundstück nicht länger, so wird die Flüssigkeit dennoch fast mit der Geschwindigkeit $V = \sqrt{2\,c\,H}$ austreten, innerhalb aber wird sie sich mit gleichförmig zunehmender Geschwindigkeit bewegen und dessen ungeachtet durch jeden Queerschnitt gleichzeitig stets eine gleiche Menge strömen.

Da die innere Leere des Mundstücks (Fig. 61) genau so gestaltet ist, wie das Wasser für die Bedingung einer gleichförmig beschleunigten Bewegung sich zusammenziehen (contrahiren) muss, so kann man ihm den Namen geben: Oeffnung nach der Gestalt der Zusammenziehung des Wasserstrahls.

215. Durch Oeffnungen oder Mundstücke von verschiedener Gestalt ergiessen sich unter übrigens gleichen Umständen ungleiche Wassermengen.

Ist die Oeffnung nach der Gestalt der Zusammenziehung gebildet, so wird die Ausflussmenge für eine Sekunde Zeit gefunden, indem man den Flächeninhalt der äussersten Ausmündung (f) mit der Ausflussgeschwindigkeit $(V = \sqrt{2\,c\,H})$ und das so erhaltene Product wieder mit der Zahl 0,98 multiplicirt. Bei dieser Rechnung betrachtet man den ausfliessenden Strahl als einen Cylinder oder als ein Prisma von der Länge V, welcher die Ausmündung f zur Grundfläche hat. Dass 2 Procent weniger ausströmt, als dieser Vorstellung nach geschehen müsste, rührt hauptsächlich daher, weil die Geschwindigkeit durch Reibung an den Wänden des Mundstücks, so wie durch unvollkommene Beweglichkeit der Wassertheile selbst etwas vermindert wird. Den Ausdruck: $f\sqrt{2\,c\,H}$ pflegt man die theoretische Ausflussmenge zu nennen; eine Zahl (in unserem Falle 0,98), womit man diesen Ausdruck zu multipliciren hat, um die wirkliche Ausflussmenge zu finden, heisst: der Ausflusscoefficient.

Wenn die Ausflussöffnung unmittelbar in eine ebne Behälterwand eingeschnitten ist, deren Dicke weniger als die Hälfte des Durchmessers der Oeffnung beträgt, so bemerkt man sogleich, dass die letztere während des Ausflusses nicht ganz angefüllt ist, und dass der Strahl vom inneren Rande nach Aussen sich konisch zusammenzieht, dergestalt dass in einer Entfernung vom innern Rande, die beiläufig halb so gross ist als die Weite der Oeffnung, sein Durchmesser nur 0,8 von dem der letzteren beträgt. (Erscheinung der Zusammenziehung oder Contraction des Strahls.) Von hier aus erhält dann der Strahl, wenn die Oeffnung kreisförmig ist, eine fast cylindrische Gestalt. Der Ausflusscoefficient für Oeffnungen in dünnen Wänden ist, wenn der Durchmesser unter 5 Linien beträgt, 0,64, sinkt aber bei weiteren Oeffnungen bis zu 0,61 herab (Weisbach). Er ist, wie die Erfahrung lehrt, auch mit der Druck-

höhe veränderlich, so dass er bei Anwendung enger Oeffnungen und sehr geringer Druckhöhen bis zu 0,69 anwachsen kann.

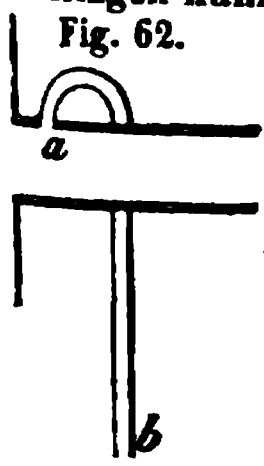
Das Phänomen der Contraktion beginnt bereits hinter der Oeffnung, wie man bei Anwendung von Glasbehältern und schwach getrübtem Wasser sehr deutlich wahrnehmen kann. Der Grund ist: weil die der Oeffnung zueilenden flüssigen Theile nach zwei Richtungen in Bewegung gesetzt werden müssen, nämlich einmal gleichlaufend mit der Axe der Oeffnung, zweitens winkelrecht gegen diese Axe. Die erste dieser Bewegungen, bei fortwirkender bewegender Kraft mehr und mehr beschleunigt, wächst endlich zur Ausflussgeschwindigkeit an, während die letztere nur dient, um die Lücken, welche wegen der beschleunigten Bewegung zwischen den hinter einander folgenden parallelen Schichten entstehen müssten, auszufüllen (214). Die Seitenbewegung der flüssigen Theile ist sichtbar bis zum Rande der Oeffnung, und kann folglich ausserhalb nicht plötzlich aufhören; sie ist die Ursache, dass der Strahl auch vor der Oeffnung fortfährt, sich zusammenzuziehen, d. h. seinen Durchmesser zu vermindern, und dass er also seine grösste Geschwindigkeit erst eine kleine Strecke ausserhalb gewinnt.

Wenn in der Behälterwand zwei Oeffnungen nahe bei einander angebracht sind, so wird die Seitenbewegung (nämlich die Bewegung winkelrecht gegen die Axe der Oeffnung) zwischen beiden begreiflicher Weise verringert, und es muss ein Uebergewicht des Seitendrucks von den entgegengesetzten Seiten entstehen. Daher kommt es, dass die Richtungen beider Strahlen ausserhalb des Behälters nicht parallel laufen, sondern einen Winkel mit einander bilden. Schliesst man die eine Oeffnung, so wird der aus der andern tretende Strahl sogleich von der früheren Richtung abgelenkt und fliesst fortan gleichlaufend mit der Axe seiner Oeffnung.

Gibt man der Ausflussöffnung die Gestalt eines kurzen cylindrischen oder prismatischen Rohrs, ist sie z. B. in eine Gefässwand eingebohrt, deren Dicke so gross oder nicht viel grösser ist, als der Durchmesser der Oeffnung, so strömt das Wasser bei raschem Ausziehen des Stöpsels, der die Mündung schliesst, ganz so wie durch eine Oeffnung in dünner Wand. Hatte man das Rohr nur mit dem Finger geschlossen, so dass es sich bereits vor dem Beginne des Ausflusses anfüllen konnte, oder beträgt die Länge desselben wenigstens das Drei- bis Vierfache des Durchmessers, so wird das Wasser durch die Adhäsion der Röhrenwand genöthigt, an dieser herzufliessen, und es ist keine Contraktion mehr sichtbar. Die Sprunghöhe des Strahls beträgt in diesem Falle höchstens 81 Procent der Druckhöhe; die Geschwindigkeit hat sich also bedeutend vermindert; gleichwohl ist die Ausflussmenge grösser geworden, denn als Cöfficienten derselben findet man jetzt die Zahl 0,82.

Wenn das kurze Ansatzrohr sich bei der Einmündung etwas konisch verjüngt und dann wieder konisch erweitert, so vermehrt sich die Ausflussmenge fast ganz so wie bei dem cylindrischen Ansatze. Hieraus muss man schliessen, dass das Wasser beim Eingange in das cylindrische Rohr ebenfalls eine Contraktion erleidet und erst nachher durch die Adhäsion der Röhrenwand genöthigt wird, sich wieder auszubreiten, dass es folglich mit zunehmender Geschwindigkeit in das Rohr ein- und mit abnehmender wieder austritt. Befindet sich an der Seite dieses Mundstücks eine kleine Oeffnung, durch welche die Luft eindringen kann, so reisst sich der Wasserstrahl sogleich von den Seitenwänden los und der Ausflusscoefficient sinkt auf 0,64. Wird in die Seitenöffnung *a* (Fig. 62) ein Glasrohr eingekittet, dessen anderes Ende *b* in ein Gefäss mit Wssser taucht, so steigt die Flüssigkeit in dem Rohr, zum Beweise einer thätigen Wirksamkeit des Luftdrucks auf beide Mündungen des Ansatzes. Derselbe bewirkt einerseits, vom Puncte der stärksten Zusammenziehung an, eine allmählige Verzögerung der Ausflussgeschwindigkeit, während er andererseits die Geschwindigkeit des Einflusses in das Mundstück beschleunigen hilft und dadurch eine Vergrösserung der Ausflussmenge herbeiführt.

Fig. 62.

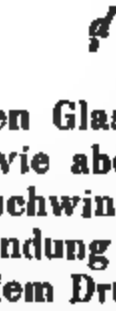


Die Ausflussmenge kann unter Mitwirkung des Luftdrucks und auf Kosten der Geschwindigkeit noch weit mehr vergrössert werden durch Mundstücke, die sich nach Aussen hin konisch erweitern. Wenn man ein derartiges Mundstück, dessen kleinster Durchmesser ungefähr zweimal in dem grössten und zehnmal in der Länge enthalten ist, mit einem andern verbindet, das nach der Gestalt der Zusammenziehung des Strahls gebildet ist, so steigt der Ausflusscoefficient bis zu 1,25.

Wenn der Ausfluss in einen luftleeren Raum geschieht, so lässt sich durch kurz-cylindrische oder nach Aussen sich konisch erweiternde Ansätze keine Vergrösserung der Ausflussmenge bewirken.

216. Wenn das Wasser durch längere cylindrische Röhren (Röhrenleitungen) fliessen muss, verliert es durch die unvollkommne Beweglichkeit seiner Theile und durch die Reibung an den Röhrenwänden einen grossen Theil seiner bewegenden Kraft.

Fig. 63.



An der Seitenwand eines Behälters (Fig. 63) befinde sich ein Mundstück nach der Gestalt der Zusammenziehung, das in ein cylindrisches Rohr *a d* von beliebiger Länge ausgeht. So lange man die Ausmündung *d* geschlossen hält, behauptet die Flüssigkeit in den verschiedenen, mit dem cylindrischen Rohr communicirenden senkrechten Glasröhren *a*, *b*, *c* und *d* dieselbe Höhe, wie im Behälter. So wie aber der Ausfluss beginnt, sinkt das Wasser in allen und verschwindet ganz aus der letzten *d*, die unmittelbar über der Ausmündung angebracht ist. Die Ausflussgeschwindigkeit entspricht dem Drucke einer Wassersäule, deren Höhe gleich ist dem Unterschiede des Wasserstandes im Behälter und in dem unmittelbar vor dem Mundstücke sich erhebenden Glasrohr *a a'*. Der ganze übrige Theil der Druckhöhe *h s* wird also durch die Widerstände verzehrt. Stehen die Glasröhren *a*, *b*, *c* und *d* in gleichen Entfernungen von einander, so findet man, dass die Wasserstände in denselben von einem zum andern um gleich viel abnehmen. Hieraus folgt, dass der Widerstand sich verhält wie die Länge des Leitungsrohrs. Um z. B. dem Widerstande von *a* bis *b* das Gleichgewicht zu halten, ist die Druckhöhe *a a'* — *b b'* verwendet worden; der Druck der Wassersäule b b' vermehrt um den Widerstand im Leitungsrohr von *b* bis *a* ist gleich dem Drucke der Wassersäule *a a'*. Bis zum Puncte *d* hin, am Ende des Rohrs, ist die ganze bewegende Kraft verwendet worden, theils zur Hervorbringung von Geschwindigkeit, theils um den Widerständen das Gleichgewicht zu halten; an dieser Stelle erfährt daher die Wand des Leitungsrohrs gar keinen Druck mehr.

In gleich langen, aber ungleich weiten cylindrischen Röhren bemerkt man bei gleicher Ausflussgeschwindigkeit ungleich grosse Widerstände, die sich verhal-

ten umgekehrt wie die Durchmesser der Leitungsröhren. Vermehrt sich die Geschwindigkeit, womit das Wasser durch ein Leitungsrohr strömt, so wächst der Widerstand, und zwar, wiewohl nicht genau, im Quadrate der Geschwindigkeit.

Da die Wände der Röhrenleitungen von dem durchströmenden Wasser in der Regel benetzt werden, so bewegt sich dieses eigentlich zwischen Wasserwänden. Allein ein unvollkommner Grad der Flüssigkeit verhindert die ganze freie Beweglichkeit der Wassertheile unter einander und bewirkt dadurch einen Aufenthalt überall, wo das Wasser über feste, wenn auch benetzte Flächen hingleiten muss. Die hieraus entspringenden Widerstände sind es, welche mit dem Namen Wasserreibung bezeichnet werden. Da die Flüssigkeit in jedem Querschnitte des cylindrischen Rohrs dieselbe mittlere Geschwindigkeit besitzen muss, so sieht man leicht, dass jeder Umkreis der Röhrenwand zur Wasserreibung gleich viel beiträgt und einen um so grösseren Verlust herbeiführt, je mehr von einer gleichzeitig hindurchfliessenden Wassermenge damit in Berührung kommen kann. Der zur Ueberwindung des Widerstandes erforderliche Druck, als Antheil der vorhandenen bewegenden Kraft, verhält sich daher direkt wie die ganze innere Wandfläche, und umgekehrt, wie der Querschnitt des Rohrs (oder vielmehr wie die Anzahl bewegter Wasserfäden); woraus das direkte Verhältniss der Länge, so wie das umgekehrte des Durchmessers leicht abgeleitet werden kann. Die jeden Augenblick eintretenden Geschwindigkeits-Verluste müssen durch die bewegende Kraft stets wieder ersetzt werden; nun sind aber die zur Hervorbringung von Geschwindigkeit erforderlichen Druckhöhen dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional. In gleicher Weise müssen daher auch die an allen Puncten der Röhrenwand verzehrten und wieder erneuerten Geschwindigkeiten eine bewegende Kraft in Anspruch nehmen, die dem Quadrate der Geschwindigkeit oder der Geschwindigkeitshöhe selbst proportional ist. — Diese Folgerung würde mit dem Resultate der Erfahrung genau übereinstimmen, wenn das Wasser in allen Puncten ein und desselben Röhrendurchschnitts einerlei Geschwindigkeit besässe; man bemerkt jedoch stets eine Zunahme derselben von der Wand nach der Mitte hin. Die mittlere Geschwindigkeit, nach der Ausflussmenge berechnet, ist daher immer grösser, als die durch den Widerstand der Röhrenwände fortwährend verloren gehende. Die zum Wiederersatze nöthigen Druckhöhen sind folglich einem Werthe proportional, der nie ganz so gross wird, als das Quadrat der mittleren Geschwindigkeit. Da nun ferner der Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten in der Mitte und an den Wänden des Rohrs sich um so grösser erweist, eine je raschere Strömung überhaupt stattfindet, so kommt es, dass man durch Annahme der mittleren Geschwindigkeit in der Rechnung einen veränderlichen Fehler begeht, der durch eine Zunahme des Widerstandscœfficienten (nämlich derjenigen Zahl, welche für Röhren von 1 Fuss Länge und 1 Fuss Durchmesser bei 1 Fuss Geschwindigkeit die Grösse der Reibung als Wasser-Druckhöhe darstellt) bei abnehmender Bewegung sichtbar wird.

Offne Gerinne sind gleichsam Längenabschnitte von Röhren; durch Reibung an ihren Seitenwänden wird daher die Bewegung des Wassers aus denselben Gründen und nach denselben Gesetzen wie in geschlossenen Röhren verzögert. Während jedoch in den letzteren die Flüssigkeit nach allen Richtungen bewegt und sogar aufwärts getrieben werden kann, insofern nur der Ausguss niedriger liegt als der Spiegel des Behälters, findet man, dass in offnen Gerinnen die Oberfläche des Wassers, so lange der Abfluss dauert, stets gleich einer schiefen Ebne geneigt ist Die Länge eines Gerinnes dividirt durch die ganze Senkung seiner Oberfläche, oder die Senkung auf die Einheit des Wegs, wird sein Gefälle genannt. Wenn Wasser durch ein offnes Gerinne mit gleichförmiger Geschwindigkeit strömt, so bezeichnet das Gefälle die zur Ueberwindung der Bewegungshindernisse für die Einheit des Wegs erforderliche Kraft. Die Geschwindigkeit

selbst ist proportional der Quadratwurzel aus dem Gefälle. Anwendung auf die Bewegung des Wassers in Kanälen und Flüssen.

217. Die Ausflussgesetze des Wassers gelten zugleich für alle übrigen tropfbaren Flüssigkeiten. Z. B. Quecksilber, Weingeist, Oel fliessen durch Oeffnungen in dünnen Platten, bei gleicher Höhe des Spiegels mit derselben Geschwindigkeit aus wie das Wasser. Wird dagegen eine Flüssigkeit durch das Gewicht einer andern von ungleicher Dichtigkeit, z. B. Wasser durch den Druck einer Quecksilbersäule, in Bewegung gesetzt, so ändert sich die Geschwindigkeit des Ausflusses im geraden Verhältnisse zur Quadratwurzel aus der Dichtigkeit.

Die Bewegungshindernisse bei verschiedenen Flüssigkeiten ändern sich mit dem Grade ihrer Dünnflüssigkeit. Z. B. Weingeist strömt durch Röhren mit grösserer Leichtigkeit als das Wasser; warmes Wasser leichter als kaltes.

218. Wenn irgend eine Flüssigkeit mit gleichförmig fortdauernder Geschwindigkeit ausfliessen soll, ist es nothwendig, den Spiegel des Behälters unveränderlich zu erhalten, d. h. es muss oben fortwährend so viel zugesetzt werden, als unten abfliesst. Man kann diesen Zweck auf folgende Art erreichen: Ein geräumiges Gefäss (Fig. 64), das mit zwei Oeffnungen *a* und *b* versehen ist, wird mit der Flüssigkeit angefüllt und dann ein offnes Glasrohr vermittelst eines Korks in die Oeffnung *a* luftdicht eingepasst. Der Ausfluss geschieht durch die Oeffnung *b*, während eine entsprechende Luftmenge durch das offne Glasrohr nachdringt und sich im Behälter über der Flüssigkeit ansammelt. So lange die letztere noch höher steht als die Mündung *o* des Rohrs, bleibt die Ausflussgeschwindigkeit beständig und von der Druckhöhe *h b* abhängig, weil alles über dem Niveau h h' befindliche Wasser durch den Druck der äusseren Luft getragen wird. Die Geschwindigkeit vermindert sich daher, wenn das Rohr tiefer eingesenkt wird, und hört ganz auf, wenn die Mündung *o* in der Höhe *b*, oder noch darunter steht. Dieser Apparat ist von Mariotte erfunden.

Fig. 64.

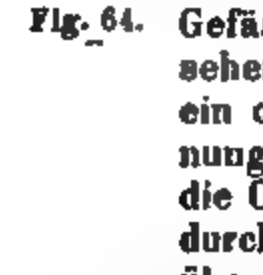


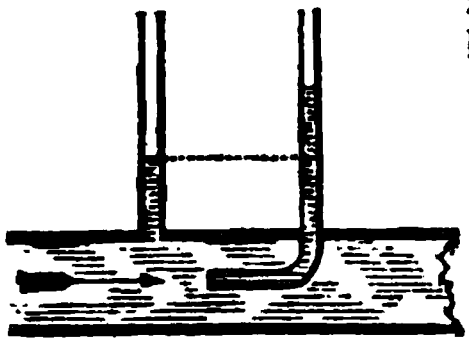
Fig. 65.

Auf demselben Principe beruhend ist die folgende, häufiger angewendete Vorrichtung. Ein Gefäss *V* (Fig. 65) wird mit der Flüssigkeit gefüllt, umgestürzt und unter den Spiegel der Flüssigkeit eines zweiten Behälters so tief eingesenkt, dass eine kleine Seitenöffnung o oben den Spiegel *a b* berührt. Indem nun der zweite Behälter sich entleert und sein Niveau sinkt, gelangt die Oeffnung *o* über die Wasserfläche; Luft dringt ein und bewirkt den Ausfluss der in *V* enthaltenen Flüssigkeit, wodurch das Niveau des unteren Behälters in einer gewissen Höhe beständig erhalten wird.

219. Hydraulischer Druck. Wenn fliessendes Wasser auf eine feste Fläche und im Allgemeinen auf einen Widerstand trifft, so wird es durch den Gegendruck desselben zunächst von der anfänglichen Richtung seiner Bewegung abgelenkt, verliert aber, während es sich längs der widerstehenden Fläche nach allen Richtungen auszubreiten sucht, durch die Wasserreibung allmählig seine Geschwindigkeit. Da die stossende Flüssigkeit diesen Verlust an Bewegung nur allmählig und nicht unmittelbar beim Zusammentreffen mit dem Widerstande erleidet, so kann der Wasserstoss in diesem Falle keine Erschütterung des gestossenen Körpers bewirken und ist in der That mehr einem Drucke zu vergleichen. Er wird daher zur Unterscheidung von dem hydrostatischen Drucke (oder dem Drucke des ruhenden Wassers) **hydraulischer Druck** genannt.

Wird eine ebne Fläche der Richtung des Stromes rechtwinklig entgegengesetzt, und vermag sie, ohne auszuweichen, die ganze Wirkung des hydraulischen Druckes aufzunehmen, so findet man die Grösse desselben gleich dem hydrostatischen Drucke; oder mit andern Worten: das Maass des hydraulischen Druckes in diesem Falle ist das Gewicht einer Wassersäule, welche den Querschnitt des stossenden Wassers zur Grundfläche und die Geschwindigkeitshöhe zur Höhe hat. Verbindet man z. B. mit einem Wasserleitungsrohr (Fig. 66) zwei senkrecht aufwärts gerichtete Glasröhren, von denen die eine in der Mitte des Leitungsrohrs rechtwinklig umgebogen und dadurch ihre Einmündung der Richtung des Stroms entgegengesetzt ist, so werden die in beiden sich erhebenden Wassersäulen ungleiche Höhen behaupten; der Unterschied entspricht der Geschwindigkeitshöhe.

Fig. 66.



Wenn der Stoss des Wassers gegen einen Körper gerichtet ist, dessen Widerstand nicht gross genug ist, um dem ganzen hydraulischen Drucke das Gleichgewicht halten zu können, geht nur ein der Grösse des Widerstandes gleicher Theil dieses Druckes auf den Körper über, und derselbe beginnt sich in Bewegung zu setzen, mit einer Geschwindigkeit, die derjenigen, welche das Wasser selbst noch beibehalten hat, gleich ist. Anwendung auf die Schaufelräder oder sogenannten unterschlächtigen Räder. Der Bewegungseffect des fliessenden Wassers verhält sich wie die Ausflussmenge multiplicirt mit dem Quadrate der Geschwindigkeit. Da nun das stossende Wasser, wenn es, wie bei den Schaufelrädern, zur Hervorbringung eines Nutzeffectes dienen soll, einen Theil seiner Bewegung beibehalten muss, so ist es einleuchtend, dass der hydraulische Druck als Betriebskraft unfähig ist, einen dem ganzen Bewegungseffecte gleichen Arbeitseffect zu erzeugen.

Von dem hydraulischen Drucke wohl zu unterscheiden ist der Stoss des Wassers in geschlossenen Kanälen (z. B. in Leitungsröhren), der jedesmal erfolgen muss, wenn die ganze in Bewegung befindliche Flüssigkeit durch einen Widerstand plötzlich aufgehalten wird. Das Wasser drückt in diesem Falle auf alle Puncte der Röhrenwand zwar nur einen Augenblick, aber mit einer sehr grossen Gewalt, die der ganzen bewegten Masse und dem Quadrate ihrer Geschwindigkeit proportional, und daher fähig ist, sehr bedeutende Widerstände zu überwinden.

Anwendung auf den Stossheber oder hydraulischen Widder, eine Erfindung Montgolfier's (Gehl. Wörterb. B. VIII, S. 1103).

Ausfluss gasförmiger Körper.

220. Wenn ein gasförmiger Körper, z. B. die Luft, auf der einen Seite einer Scheidewand eine stärkere Spannung besitzt als auf der andern, so fliesst er nach der Seite des geringeren Drucks durch jede in der Wand angebrachte Oeffnung. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung ist unveränderlich, so lange sich der Spannungsunterschied nicht ändert; sie vergrössert sich mit der Zunahme dieses Unterschiedes, ist übrigens ganz unabhängig von der Grösse des Raumes (des Behälters), worin das stärker gespannte Gas sich befindet.

221. Da die Möglichkeit des Ausflusses der Luft oder irgend eines anderen Gases wesentlich darauf beruht, dass den Lufttheilen von der Seite der Oeffnung her ein geringerer Druck entgegenstehe, so folgt, dass das Gas in der Nähe der Oeffnung mit der beginnenden Bewegung zugleich sich ausdehnen muss und dass, sobald es die grösstmögliche Geschwindigkeit angenommen hat, es auch das ganze Uebergewicht seiner Spannkraft verloren hat.

222. Die Ausflussgesetze der Gase lassen sich auf die der tropfbaren Flüssigkeiten zurückführen, wenn man das ausströmende Gas als unzusammendrückbar und von gleicher Dichtigkeit mit dem äusseren betrachtet, und indem man ferner den Unterschied des inneren gegen den äusseren Druck so ansieht, als werde er durch das Gewicht einer Gassäule von entsprechender Höhe, bei derselben Spannkraft, wie sie das äussere Gas besitzt, hervorgebracht. Von dieser Betrachtungsweise ausgehend, findet man die Ausflussgeschwindigkeit durch Oeffnungen in dünnen Platten, proportional der Quadratwurzel aus der Höhe der drückenden Gassäule. Durch Oeffnungen oder Mundstücke von verschiedener Gestalt fliessen, ähnlich wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten, ungleiche Gasmengen; wesshalb die Bestimmung der Ausflussmenge Kenntniss des der Oeffnung entsprechenden Ausfluss-Coefficienten voraussetzt.

Das Uebergewicht der Spannkraft der in einem Behälter eingeschlossenen Luft pflegt man mittelst des Manometers (200) zu messen, und durch das Gewicht einer Quecksilber- oder Wassersäule auszudrücken. Gesetzt, die beobachtete Höhe der Wassersäule sey h; die Dichtigkeit des eingeschlossenen Gases, bezogen auf den Druck ausserhalb des Behälters, sey δ, wenn das specifische Gewicht des Wassers als Einheit genommen wird, so ist die gesuchte Höhe der Gassäule $\frac{h}{\delta}$, nämlich so viel höher als h, wie das Wasser dichter ist, als das Gas.

Beispiel: Die Dichtigkeit der Luft bei dem Barometerstande b und der Temperatur $t°$ ist: $\delta = \frac{1}{770} \cdot \frac{b.\ 273}{336{,}9\ (273 + t°)}$; (204) folglich die Höhe einer Luftsäule, welche denselben Druck ausübt, wie die Wassersäule h, beträgt $H =$

$\frac{770 \cdot 336{,}9\,(273 + t°)}{273 \cdot b}$ h. Die Ausflussgeschwindigkeit findet man dann $v = \sqrt{2\,c\,H}$.

Die Gase erleiden beim Ausfluss durch Oeffnungen in dünnen Platten eine Contraction, welche wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten veränderlich ist. Sie nimmt ab, wenn die Höhe der drückenden Gassäule oder wenn die Ausflussgeschwindigkeit geringer wird, dergestalt, dass bei gleicher Geschwindigkeit und Grösse der Oeffnung der Ausflusscoefficient für die Luft mit dem für das Wasser geltenden fast übereinstimmt.

Aus den Blasebälgen und den grösseren Gebläse-Maschinen, die auf den Hüttenwerken angewendet werden, lässt man die verdichtete Luft gewöhnlich durch kurze, konische, nach Aussen sich verengernde Ansätze (sogenannte Düsen) ausströmen. Die konische Verjüngung derselben entspricht einem Winkel von 3° bis 5°, und der Ausflusscoefficient bezogen auf den kleinsten Querschnitt der Düse schwankt je nach der Grösse der Geschwindigkeit zwischen 0,80 und 0,90. — Zweckmässiger würde es seyn, statt der konischen Düsen solche zu wählen, die genauer nach der Gestalt der Contraction gebildet sind. Die Ausflussmengen würden dann bei veränderter Druckhöhe weniger schwanken.

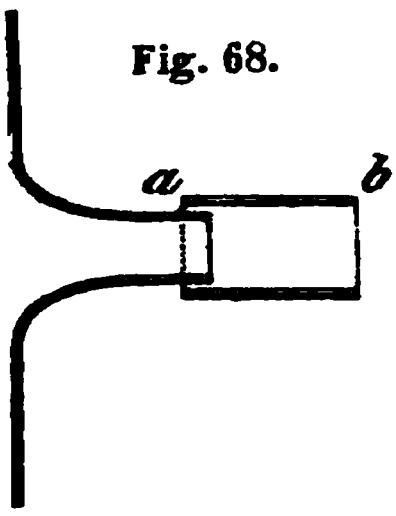
Kurze cylindrische Ansätze vermehren die Ausflussmenge auf Kosten der Geschwindigkeit. In noch auffallenderem Grade geschieht dies durch konisch nach aussen sich erweiternde Mundstücke, aus Gründen, die bereits in Nr. 215 erörtert worden sind. Befindet sich an der Seitenwand des Mundstücks eine Oeffnung, so strömt Luft durch dieselbe ein. Leitet man von dieser Oeffnung ein Glasrohr senkrecht abwärts in ein Gefäss mit Wasser oder Quecksilber, so steigt die Flüssigkeit zu einer Höhe, die genau die Grösse der Mitwirkung des Luftdrucks bezeichnet.

Fig. 67.

Hierher gehört auch die folgende Erscheinung: Eine leichte frei aufgehängte Scheibe *c d*, dem durch die Oeffnung *o* eines Behälters austretenden Gasstrome aus einiger Entfernung dargeboten, wird abgestossen. Befindet sich aber die Oeffnung *o* in der Mitte einer ebnen Fläche *a b*, und hat man die bewegliche Scheibe über eine gewisse Grenze hinaus genähert, so wird sie nicht abgestossen, sondern mit beschleunigter Bewegung angezogen, bis zwischen beiden Scheiben nur noch ein schmaler ringförmiger Zwischenraum bleibt, der nunmehr gleichsam die äusserste Ausmündung der Oeffnung bildet und durch welchen das Gas mit von *o* aus abnehmender Geschwindigkeit ausströmt.

Wenn der aus einer konischen Düse (Fig. 68) entweichende Gasstrom genöthigt ist, durch ein kurzes, an beiden Seiten offenes cylindrisches Rohr *a b* zu gehen, so tritt ein ganz ähnliches Verhalten ein, wie bei einem kurzen cylindrischen Ansatze. Die ausströmende Luft füllt die ganze Ausmündung *b* des Rohrs, und ihre Bewegung wird verlangsamet, während bei *a* die äussere Luft mitgerissen oder eingesaugt wird. Es fliesst also bei *b* mehr aus, als der Pressung im Behälter und der Weite der Düse entspricht, jedoch auf Kosten der Geschwindigkeit. Man hat von diesem Verhalten eine nützliche Anwendung gemacht, um mittelst eines Dampfstroms und ohne Beihülfe eines Schornsteins den zur Belebung des Feuers nöthigen Zug hervorzubringen.

Fig. 68.



Ausströmende Gase, auch wenn sie nicht genöthigt sind, sich durch einen weiteren, von festen Wänden eingeschlossenen Kanal zu bewegen, breiten sich bei allmählig abnehmender Geschwindigkeit mehr und mehr aus, indem sie die umgebende Luft ringsum mit sich fortreissen und sich damit vermengen. Der durch enge Oeffnungen ausströmende Dampf, so wie die

Flamme des Leuchtgases nehmen aus diesem Grunde eine Gestalt an, die derjenigen eines umgestürzten Kegels ähnlich ist. Aus diesem Umstande erklärt sich auch die rasche Abkühlung erwärmter, durch enge Oeffnungen ausfliessender Gase.

Wenn gasförmige Körper durch längere cylindrische Röhren fliessen müssen, erfahren sie einen von der Beschaffenheit, insbesondere von der Glätte der Röhrenwand abhängigen Widerstand, der übrigens wie bei den tropfbaren Flüssigkeiten im direkten Verhältnisse zum Quadrate der Geschwindigkeit und der Röhrenlänge, aber im umgekehrten des Durchmessers steht. Dieser Widerstand als Wassersäule ausgedrückt, ist in ein und demselben Rohr für alle Gase, bei jeder Temperatur und Dichtigkeit gleich gross, wenn die Geschwindigkeitshöhe, ebenfalls als Wassersäule ausgedrückt, stets dieselbe bleibt. (Studien des Götting. Bergmännischen Vereins, Bd. IV, S. 131.)

223. Verschiedene Gase bei gleicher Spannkraft, fliessen durch Oeffnungen von ganz gleicher Beschaffenheit mit Geschwindigkeiten aus, die sich verhalten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus der Dichtigkeit oder direkt wie die Quadratwurzeln aus der specifischen Expansivkraft (206) dieser Gase.

Der Grund ist, weil die Höhe der drückenden Gassäule bestimmt wird, indem man den Stand des Manometers durch die Dichtigkeit des Gases dividirt. Z. B. eine Wasserstoffsäule, welche denselben Druck ausüben soll, wie eine Sauerstoffsäule, muss eine 16mal grössere Höhe besitzen. Der ausfliessende Wasserstoff ist also gleichsam von einer 16mal grösseren Höhe herabgefallen, als der unter ganz gleicher Pressung ausfliessende Sauerstoff. Die Geschwindigkeit des ersteren ist daher viermal so gross als die des letzteren.

Erwärmung vermehrt das eigenthümliche Expansivvermögen der Gase und vergrössert folglich auch bei übrigens unverändertem Stande des Manometers ihre Ausflussgeschwindigkeit. Durch die Ausdehnung wird nämlich die drükkende Gassäule H gleichsam im Verhältnisse von $\frac{273 + T}{273 + t}$, also die Geschwindigkeit im Verhältnisse von $\sqrt{\frac{273+T}{273+t}}$ vergrössert. Die absolute Ausflussmenge dagegen verändert sich im Verhältnisse von $\frac{273 + t}{273 + T}$; (202). Von warmer Luft strömt daher unter ganz gleichem Drucke weniger aus als von kalter Luft.

224. Bedingungen des Zugs in den Oefen. Die Luft dehnt sich durch Erwärmung aus und wird leichter; wenn daher ein mit einem Ofen in Verbindung stehendes aufwärts gerichtetes Rohr (der Schornstein) mit Luft von höherer Temperatur als die äussere angefüllt ist, so erleidet die Basis dieser erwärmten Luftsäule, der Rost, gleichwie die unmittelbar über dem Roste (im Feuerraum) befindliche Luft von Innen einen geringeren Druck als von Aussen. Hierdurch entsteht der Zug oder der Einfluss der äusseren, stärker gespannten Luft durch die Zwischenräume der Roststäbe in den Feuerraum. Die Fortdauer und Gleichförmigkeit des Zugs hängt davon ab, dass die einströmende Luft den Zustand der inneren annimmt und, nachdem sie zur Verbrennung gedient hat, vermittelst des Schornsteins an einer höheren Stelle wieder nach Aussen geführt wird. Um die Stärke des Zugs oder die Grösse der Geschwindigkeit, womit die äussere Luft in den Feuerraum ein-

dringen kann, zu bestimmen, muss man das Uebergewicht der äusseren Spannung als eine Gassäule von derselben Beschaffenheit wie die innere Luft in Rechnung nehmen (222). Geschwindigkeit und Menge der einströmenden Luft lässt sich dann leicht ermitteln.

Es sey H die senkrechte Höhe des Schornsteins, T die mittlere Temperatur der gleich hohen warmen Luftsäule, t die äussere Temperatur. Eine Säule der kältereu Luft von der Höhe H würde einer warmen Luftsäule von der Höhe H $\frac{273 + T}{273 + t}$ das Gleichgewicht halten können (202); das Uebergewicht des äusseren Drucks als Luftsäule von der Temperatur T berechnet, entspricht folglich der Höhe $\frac{273 + T}{273 + t} . H - H = \frac{T - t}{273 + t} H$. Die nach dieser Druckhöhe berechnete Einflussmenge $M' = f \sqrt{2 c \frac{(T - t) H}{273 + t}}$ bezieht sich jedoch auf Luft, welche bereits die mittlere innere Temperatur angenommen hat, und gibt folglich keine ganz richtige Vorstellung von der Stärke des Zugs, nämlich von der Menge einströmender kalter Luft, von welcher allein die Lebhaftigkeit der Verbrennung abhängt. Die Einflussmenge M' auf die äussere Temperatur reducirt führt zu der Gleichung $M = f \sqrt{2 c \frac{(273 + t) (T - t) H}{(273 + T)^2}}$, aus der sich nunmehr ein richtiges Urtheil ziehen lässt über den Einfluss, welchen Schornsteinhöhe und mittlere Temperatur der Schornsteinluft auf die Stärke des Zugs ausüben können.

Man findet, dass die Geschwindigkeit des Zugs der Quadratwurzel aus der senkrechten Höhe des Schornsteins proportional ist; dass sie hingegen durch Temperaturerhöhung nur in einem abnehmenden Verhältnisse begünstigt wird, in der Art, dass durch Erwärmung der inneren Luftsäule über eine gewisse Temperatur (ungefähr 273°) hinaus sogar eine Abnahme des Zugs entstehen muss.

Die Stärke des Zugs hängt aber auch von der Grösse des Widerstandes ab, welchen der Luftstrom im Innern des Ofens und des Schornsteins erfährt. Nun weiss man, dass strömende Flüssigkeiten an den Wänden der Leitungsröhren einen Widerstand erleiden, der dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional ist. Eine möglichst grosse Einflussgeschwindigkeit knüpft sich also an die Bedingung einer möglichst langsamen Bewegung im Schornstein. Diese Bedingung wird hinreichend erfüllt, wenn der Querschnitt des Schornsteins und überhaupt des ganzen Abzugskanals für die abgenutzte Luft an keiner Stelle weniger beträgt als der Flächeninhalt der Rostöffnungen zusammengenommen. Hierbei ist freilich vorausgesetzt, dass der Rost mit dem Brennstoffe stets vollständig bedeckt bleibe, ohne doch davon verstopft zu werden.

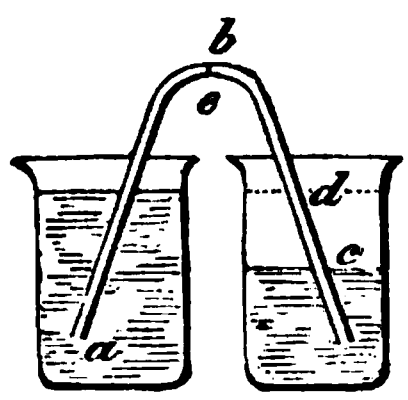
Hydraulische und pneumatische Apparate.

225. Die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper bilden die Grundlage zur Erklärung zahlreicher Ma-

schinen und Apparate. Wir begnügen uns, einige derselben, als Geräthschaften des praktischen Physikers und Chemikers, hier besonders hervorzuheben.

226. Der Heber. So nennt man ein umgebogenes Rohr von Glas oder Metall, welches gebraucht wird, um eine Flüssigkeit aus ihrem Behälter zu ziehen, ohne eine Oeffnung daran anzubringen.

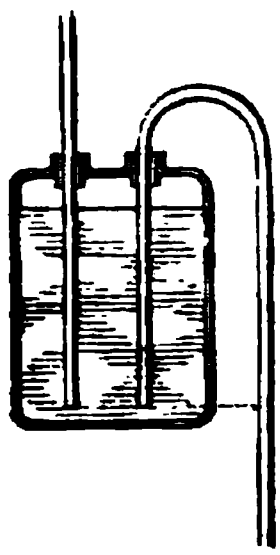
Fig. 69.



Zwei offene Gefässe (Fig. 69) enthalten Wasser oder eine andere Flüssigkeit. Das Heberrohr *a b c*, ebenfalls damit gefüllt und gleichzeitig mit dem einen Schenkel in das eine Gefäss, mit dem andern Schenkel in das andere Gefäss umgestürzt, bleibt voll (193); die enthaltene Flüssigkeit wird durch den Luftdruck getragen. Liegen die Wasserspiegel in beiden Gefässen in derselben wagrechten Ebene, so besitzen die in den beiden Schenkeln des Hebers eingeschlossenen Wassersäulen gleiche lothrechte Höhen und halten einander das Gleichgewicht; beide äussern einen gleich starken Zug auf den senkrechten Querschnitt *b e* am Scheitel des Rohrs. Steht die Flüssigkeit in einem Gefässe niedriger als im andern, so sind die Wassersäulen in beiden Schenkeln des Hebers nicht mehr gleich hoch, und es entsteht auf der Seite der höhern Säule ein, dem Höhenunterschiede *d c* beider Wasserspiegel gleiches Uebergewicht des Zuges. Das Wasser sinkt daher in diesem Theile des Rohrs. Weil aber der Heber wegen des Drucks der Luft stets gefüllt bleiben muss, so muss bei *a* eine eben so grosse Menge Flüssigkeit nachdringen, als auf der andern Seite ausfliesst. Diese Bewegung geht mit einer Geschwindigkeit vor sich, die in jedem Augenblicke der Quadratwurzel aus dem Unterschiede *d c* beider Wasserspiegel proportional ist. Das zweite Gefäss ist nicht wesentlich, um den Heber in Gang zu setzen; wird es entfernt, so ist die Grösse des Uebergewichts (die Druckhöhe) gleich dem lothrechten Abstande der flüssigen Oberfläche von der Ausmündung des äussern Schenkels, ganz so, als ob diese Ausmündung unmittelbar in der Gefässwand angebracht wäre. — Der Luftdruck ist, wie man sieht, nicht die Ursache des Ausflusses, er dient nur, das Heberrohr voll zu erhalten. Im luftleeren Raum hört die Wirksamkeit des Hebers auf, weil das Steigrohr *a b* nicht gefüllt bleibt. In der Atmosphäre darf die lothrechte Erhebung desselben über den Spiegel des Wassers 32 Fuss nicht übersteigen. Um Quecksilber abzuziehen, darf das Heberrohr nicht 28 Zoll hoch seyn.

Die Schnelligkeit, womit das Wasser mittelst des Hebers abfliesst, nimmt ab, je mehr sich der Spiegel der Flüssigkeit erniedrigt. Man kann einen gleichförmig fortdauernden Abfluss erhalten, wenn man den Heber mit Hülfe einer geeigneten Vorrichtung auf dem Wasser schwimmen lässt. Die in Fig. 70 angedeutete

Fig. 70.



Abänderung des mariottischen Gefässes (siehe Fig. 64) gestattet ebenfalls einen gleichbleibenden Abfluss.

Das Anfüllen des Hebers kann, bevor er umgestürzt ist, leicht durch Eingiessen von Wasser bewerkstelligt werden. Taucht der eine Schenkel bereits in die Flüssigkeit ein, so füllt man ihn durch Saugen an der Mündung des andern Schenkels. Um scharfe und ätzende Flüssigkeiten abzuziehen, können Heber von der Einrichtung Fig. 71 oder 72 gebraucht werden.

Fig. 71.

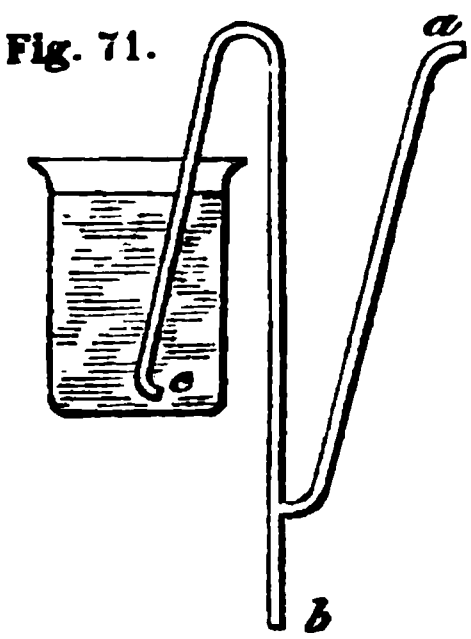
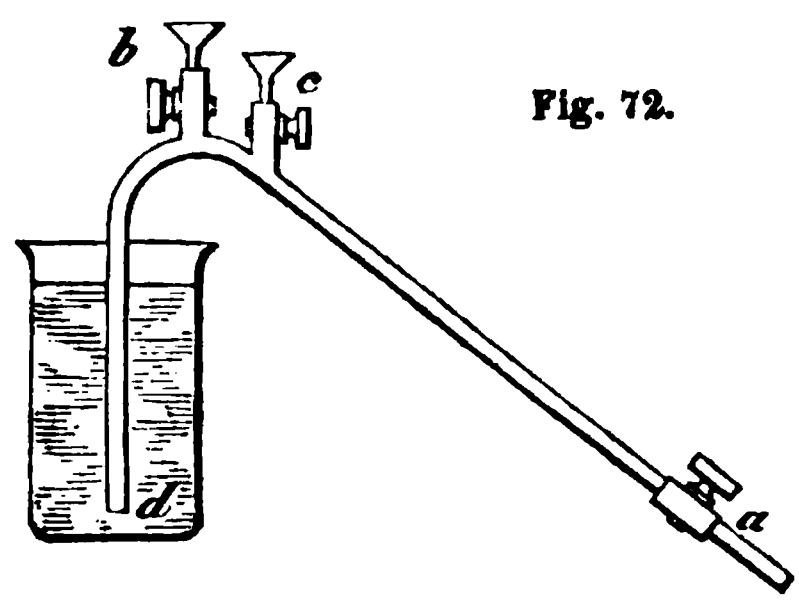


Fig. 72.

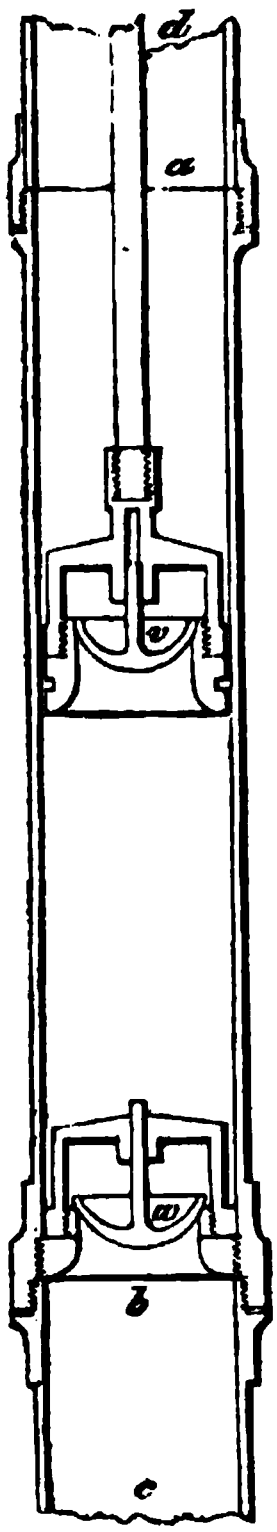


Während das Ende *c* Fig. 71 in die Flüssigkeit taucht, wird die Oeffnung *b* mit dem Finger geschlossen und bei *a* gesaugt, bis sich das Rohr gefüllt hat. Der Heber Fig. 72 hat vier Oeffnungen, von welchen drei mit Hahnen verschliessbar. Während der Hahn *a* zu ist und der Schenkel *d* in der Flüssigkeit steht, wird von derselben Flüssigkeit durch den Trichter *c* eingegossen; *b* dient, um der Luft einen Ausweg zu schaffen. Ist das Rohr angefüllt, so schliesst man die Hahnen *b* und *c* und öffnet *a*.

Der Stechheber ist ein gerades, offnes, ziemlich weites Rohr mit engen Mündungen. Senkt man dasselbe in eine Flüssigkeit, so dringt diese ein und steigt darin zu derselben Höhe, welche sie ausserhalb einnimmt. Hält man sodann die obere Oeffnung mit dem Finger zu, so kann man den Stechheber aus der Flüssigkeit nehmen, ohne dass etwas ausfliesst.

227. Die Wasserpumpe. Den Hauptheil der Pumpe bildet ein cylindrisches Rohr, der Stiefel *ab* (Fig. 73), worin ein Kolben wasserdicht auf und nieder beweglich ist, und dessen Verbindung nach Aussen durch zwei Ventile *v* und *w*, die sich beide von Unten nach Oben öffnen, bewerkstelligt wird. Das sogenannte Saugventil *w* sitzt am Boden des Stiefels, das Steigventil *v* ist entweder, wie in Fig. 69, im Kolben oder

Fig. 73.



an der Seitenwand des Stiefels angebracht. Wenn der Stiefel nicht unmittelbar in das Wasser, das mit der Pumpe gehoben werden soll, eingesenkt ist, so befindet sich unter dem Saugventil luftdicht an dem Stiefel befestigt ein zweites Rohr *b c*, das Saugrohr, dessen unteres Ende in das Wasser taucht und dadurch die Verbindung desselben mit der Pumpe herstellt. Das Spiel der Wasserpumpe ist dem der Luftpumpe (192) ganz ähnlich. Wird der Kolben aufgezogen, so bleibt das Ventil *v* durch den Druck der äussern Luft geschlossen, während *w* sich öffnet und die Luft im Saugrohr verdünnt wird. Wasser dringt ein ohne beim Niedergang des Kolbens, wodurch das Saugventil sogleich geschlossen wird, wieder zurückfliessen zu können. Auf diese Weise wird nach mehreren Kolbenspielen, vermöge des Drucks der Atmosphäre auf die Fläche des Wassers, dieses durch die Ventil-Oeffnung bis in den Stiefel gehoben. Das in den letzteren eingedrungene Wasser kann, wenn das Saugventil gut schliesst, nicht mehr zurücklaufen, und wird daher durch den Niedergang des Kolbens genöthigt, das Steigventil zu öffnen und über den Kolben zu treten. So gelangt, bei fortgesetztem Betriebe, alles aufgesaugte (durch den Luftdruck gehobene) Wasser über den Kolben, und kann nach und nach zu jeder beliebigen Höhe geschafft werden. Zu diesem Zwecke ist am obern Ende des Stiefels ein drittes Rohr, das Steigrohr, angesetzt.

Der Kolben hat von dem darüber stehenden Wasser einen Druck zu erleiden, der, ganz unabhängig von der Weite des Steigrohrs, durch das Gewicht einer Wassersäule gemessen wird, welche den Querschnitt des Stiefels zur Grundfläche und die Höhe des Wasserstandes darüber zur Höhe hat (168). Die unter dem Kolben im Stiefel und Saugrohr hängende Wassersäule wird zwar durch den Druck der Atmosphäre auf den Spiegel des Wassers im Behälter getragen; allein derselbe Druck wirkt durch das Steigrohr auch auf die obere Fläche des Kolbens und strebt diesen mit derselben Kraft abwärts zu bewegen, womit die aufgesaugte Wassersäule gehoben wird. Hätte diese letztere z. B. die Höhe von *a* Fussen, so würde sich auf die obere Kolbenfläche der ganze Atmosphärendruck, entsprechend dem einer Wassersäule von 32 Fuss, auf die untere Kolbenfläche aber (eben wegen des Gegengewichtes der Saugsäule) nur der Druck 32—*a* fortpflanzen. Von oben wäre also ein Uebergewicht von *a* Fuss wirksam, gleich als ob das aufgesaugte Wasser ebenfalls auf dem Kolben ruhte. Der aufsteigende

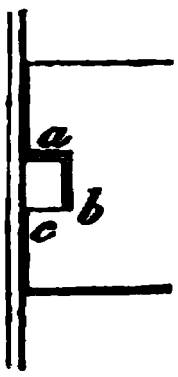
Kolben hat daher in der That nicht nur das darüber stehende, sondern auch das darunter hängende Wasser zu heben, und die Betriebskraft muss dem Gewichte einer Wassersäule das Gleichgewicht halten, welche den ganzen Höhenunterschied (H) des oberen und unteren Wasserspiegels zur Höhe und den Querschnitt (f) des Stiefels zur Grundfläche hat.

Bei jedem Kolbenhub legt diese Wassersäule f H in der Richtung der Schwere einen der Länge (a) des Hubs entsprechenden Weg zurück. So oft also eine dem Inhalt des Stiefels entsprechende Wassermenge oben zum Ausguss kommt, ist das Bewegungsmoment $f H \times a = f a \times H$ verwendet worden. Man sieht hieraus, dass (ohne Rücksicht auf Bewegungshindernisse) zum Betriebe der Pumpe ganz dieselbe Kraft angewendet werden muss, wie wenn alles oben abfliessende Wasser unmittelbar zur Förderungshöhe H gehoben würde. Weil indessen Kolben und Ventile selten ganz luftdicht schliessen, so fliesst während des Betriebes fast immer etwas Wasser zurück; aus diesem Grunde, theils aber auch wegen der Reibung des Kolbens, so wie des bewegten Wassers an den Wänden der Röhren, beträgt die wirkliche Betriebskraft stets $^1/_{10}$ bis $^3/_{10}$ mehr als die theoretisch berechnete.

Die Zeichnung (Fig. 73) ist nach Verhältnissen ausgeführt, welche man als die vortheilhaftesten anerkannt hat, um die Hindernisse der Bewegung so gering wie möglich zu machen. — Der Durchmesser des Stiefels (bei der gewöhnlichen Handpumpe 2—3 Zoll) ist von der Grösse der Betriebskraft abhängig; seine Höhe soll in der Regel nicht unter 10 Zoll betragen. Die Weite des Steigrohrs ist der des Stiefels gleich oder doch nicht viel geringer. Der Flächeninhalt der Ventilöffnungen ist die Hälfte oder ihr Durchmesser $^2/_3$ von der des Stiefels. Denselben Durchmesser erhält das Saugrohr; seine Lage beträgt gewöhnlich nicht mehr als 10—14 Fuss. Das Wasser könnte zwar durch den Luftdruck bis zu 32 Fuss gehoben werden; allein man erspart nichts an Kraft durch eine so hohe Saugsäule.

Das wasserdichte Anschliessen des Kolbens an der Wand des Stiefels wird gewöhnlich durch einen den massiven Kern des Kolbens umgebenden Lederstreifen bewirkt. Daher der Name **Liederung**.

Fig. 74.



Figur 74 zeigt eine der zweckmässigsten Liederungsmethoden, welche von **Henschel** zuerst angewendet worden ist. Der abgedrehte metallene Kolben hat im Stiefel nur so viel Spielraum, dass er sich ohne Einklemmung bewegt. In denselben ist eine Nuth rechtwinklig eingedreht, die durch einen zusammenhängenden mit etwas Spielraum lose einliegenden Lederring ausgefüllt wird. Der Durchschnitt des Rings ist ein Quadrat. Durch den Druck des zwischen der Kolbenfläche und Stiefelwand in die Nuth eindringenden Wassers, wird der Lederring bei c nach der Fuge hingetrieben und verschliesst sich ringsum. Der hiedurch bewirkte Abschluss ist um so fester, je stärker der Wasserdruck, so dass also mit der Höhe der drückenden Wassersäule und dem vermehrten Bestreben der Flüssigkeit durch die Fuge zu dringen, zu gleicher Zeit stets der Widerstand der Liederung wächst, und dass folglich die durch den Druck des Leders auf die Stiefelwand entstehende Reibung nie grösser ist, als es die Bedingung eines genügenden Verschlusses durchaus nothwendig macht.

Die vorherbeschriebene Wasserpumpe (Fig. 73) wird vorzugsweise eine **Saugpumpe** genannt. Befindet sich hingegen das zweite Ventil so wie das Steigrohr an der Seite des Stiefels, wie in Fig. 75, so pflegt man ihr den Namen vereinigte **Saug- und Druckpumpe** oder auch schlechthin **Druckpumpe** zu geben. Man wendet sie hauptsächlich in solchen Fällen an, wo es unbequem oder unausführbar seyn würde, das Steigrohr lothrecht über den Stiefel zu setzen.

Unsere **Feuerspritzen** sind Druckpumpen, mittelst welchen das Wasser

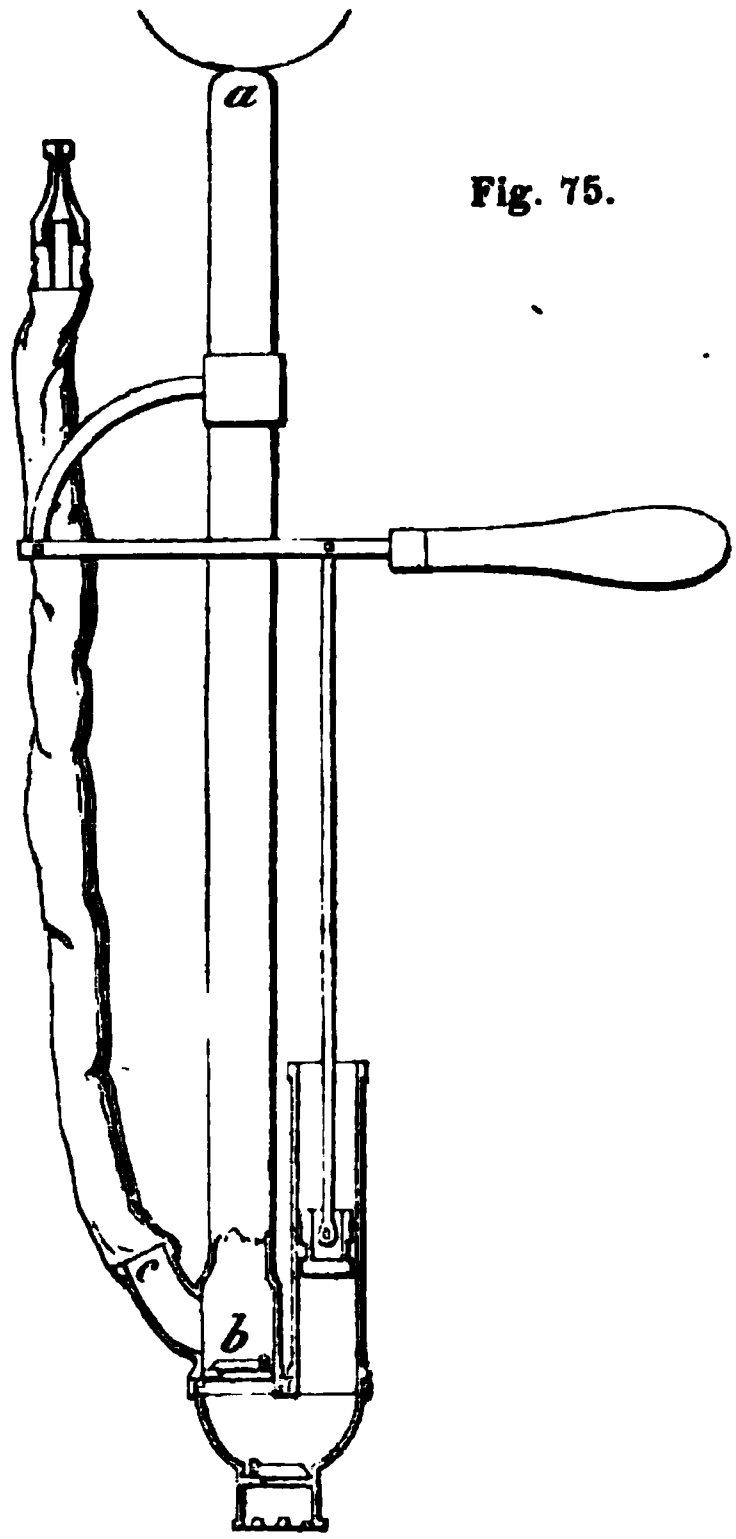


Fig. 75.

zuerst in den sogenannten Windkessel, eine Art von Heronsball (siehe 192 und Fig. 49), gepresst und dann aus diesem, vermöge der fortwirkenden Kraft der verdichteten Luft, in gleichförmigem Strahle durch eine passende Oeffnung (ein Mundstück), ausgetrieben wird. Dieses Mundstück ist am zweckmässigsten (wie bei den Henschel'schen Spritzen) nach der Gestalt der Zusammenziehung gebildet. Es sitzt entweder unmittelbar über dem Windkessel oder am Ende eines damit in Verbindung stehenden Schlauchs. Die Figur 75 zeigt den Durchschnitt einer kleinen Henschel'schen Handspritze in $^1/_{12}$ natürlicher Grösse; *a b* ist der Windkessel; *b c* ein von demselben ausgehendes kurzes Ansatzrohr, woran der Schlauch angeschraubt wird. Die Krücke bei *a* dient zum Festhalten der Spritze während des Gebrauchs. Bei grösseren Feuerspritzen werden zwei Druckpumpen zugleich angewendet. Der Schlauch ist das gemeinschaftliche Steigrohr für beide.

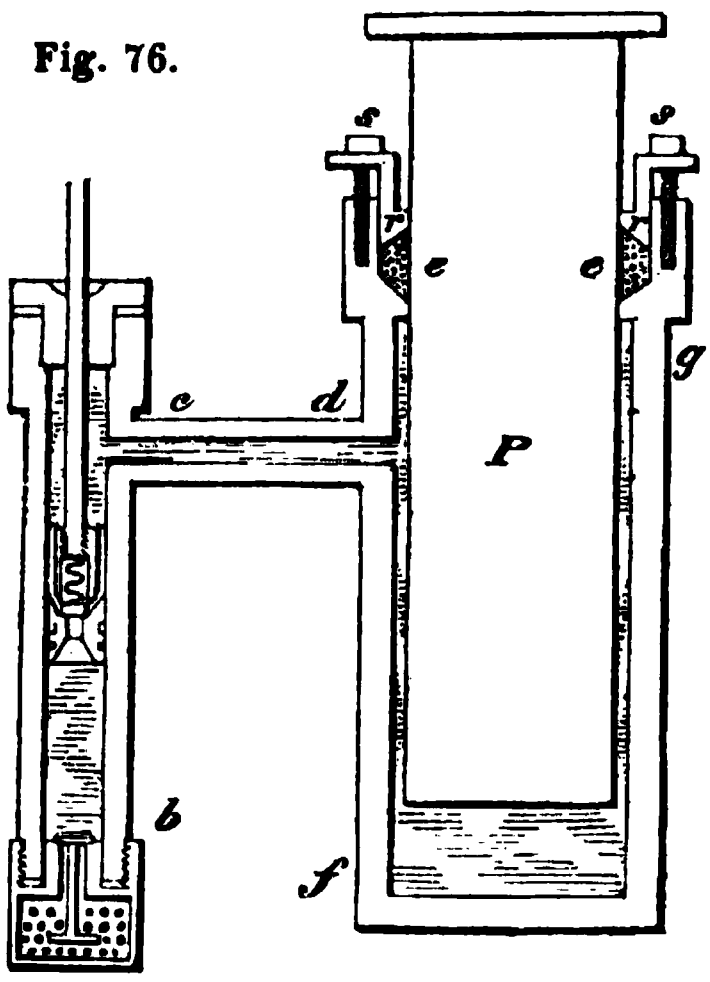


Fig. 76.

228. **Die hydraulische Presse.** Nach dem hydrostatischen Grundgesetze (160) kann ein Druck von gegebner Grösse in dem Wasser nach jeder Richtung mit gleicher Stärke fortgepflanzt und folglich, wenn er gegen eine bewegliche Wand wirksam ist, durch blosse Vergrösserung dieser Wand, zu jeder beliebigen Grösse vervielfacht, zum Vorschein kommen. Die hydraulische Presse, nach ihrem Erfinder auch Brahma'sche Presse genannt, ist eine Anwendung dieses Gesetzes, um den mittelst des Kolbens einer Pumpe ausgeübten Druck zu vervielfachen.

Figur 76 ist ein Durchschnitt einer solchen Maschine. *c a b* stellt die Pumpe vor. Das mittelst derselben eingesaugte Wasser wird durch ein Rohr *c d* in den Behälter *g f* übergeführt; es drückt hier auf die Grundfläche des beweglichen und massiven Cylinders *P*, des Presscylinders, der auf diese

Weise in Bewegung gesetzt wird. Es sey F der Inhalt der Cylinderfläche, f der des Querschnittes des Pumpenstiefels, K die Kraft, womit die Pumpe betrieben wird, so wirkt (160) auf den Presscylinder ein Druck $L = K\frac{F}{f}$.

Die Pumpe wird durch eine Hebelstange bewegt, deren Arme im Verhältnisse $\frac{R}{r}$ stehen. Auf den Presscylinder wirkt daher der Druck $L = K.\frac{F}{f}.\frac{R}{r}$, wenn K die am Hebelsarme R thätige Kraft bezeichnet. Man findet also das Verhältniss zwischen Last und Kraft an der hydraulischen Presse, indem man das Verhältniss der Querschnitte, oder was dasselbe ist, das Verhältniss der Quadrate der Durchmesser des Presscylinders und des Stiefels, mit dem Verhältnisse der Hebelsarme multiplicirt. Z. B. bei einer kleinen hydraulischen Presse, wie man sie in chemischen Laboratorien gebraucht, hat der Stiefel 5‴, der Presscylinder 25‴ Durchmesser (Verhältniss wie 1 : 5, und der Quadrate wie 1 : 25), das Verhältniss der Hebelsarme ist wie 1 : 6. Bei dieser kleinen Maschine ist daher $L = \frac{25.6}{1.1}K = 150\,K$; d. h. durch jedes Pfund Kraft werden 150 Pfund Widerstand überwunden, also durch die mässige Kraft von 30 Pfund, die ein Mensch leicht ausüben kann, lassen sich 4500 Pfund Last in Bewegung setzen.

Um den Behälter *g f*, da wo der Cylinder *P* hervortritt, nach Aussen wasserdicht abzuschliessen, kann die vorher (227) beschriebene Liederung angewendet werden. Die Fig. 76 zeigt eine andere Art des Abschlusses, mittelst der sogenannten Stopfbüchse. *e e* ist eine Höhlung, die den massiven Cylinder rings umgibt. Sie wird mit Lederschnitzel, die man zuvor mit Fett getränkt und dadurch erweicht hat, ausgefüllt. Ein den Cylinder umschliessender beweglicher Metallring *r r*, bildet die obere Wand dieser Höhlung; er wird mittelst der Schrauben *s* so lange eingetrieben, bis das auf diese Weise gegen die Cylinderwand gepresste Leder kein Wasser mehr durchlässt. Die Kolbenstange geht am obern Ende des Stiefels ebenfalls durch eine Stopfbüchse. Ihr Durchmesser ist so gross, dass sie gerade die Hälfte des innern Raums des Stiefels ausfüllt. Das beim Niedergange des Kolbens über das Kolbenventil gelangende Wasser, findet daher nicht Platz genug; die Hälfte davon muss sogleich in den Behälter *g h* übergehen und den Presscylinder heben. Die andere Hälfte wirkt beim Aufgange des Kolbens. Durch diese Anordnung bleibt also die hydraulische Presse während des Auf- und Niedergangs des Kolbens in fortdauernder Wirksamkeit.

An dem Rohre, welches Pumpe und Presscylinder verbindet, befindet sich gewöhnlich eine durch ein Ventil verschliessbare Oeffnung, deren nächster Zweck darin besteht, eine Belastung der Presse über die Gränze ihrer Haltbarkeit zu verhindern. Auf Platte III. Fig. 1. sieht man den Durchschnitt einer hydraulischen Presse, welche diese Anordnung besitzt. Die Druckpumpe *a b* ist durch den Kanal *k h g* mit dem Presscylinder *e f* verbunden, der hier eine wagerechte Lage hat, und daher nur im Querschnitte zu sehen ist. Der Hahn *h* mit doppelter Durchbohrung dient, um nach Erforderniss die in den Presscylinder eingepumpte Flüssigkeit wieder ablassen zu können. Bei *c* befindet sich das Ventil. Es besteht aus einer lothrechten Stange *c d*, deren unteres Ende kugelförmig abge-

rundet ist und auf einem engen cylindrischen Kanale *c*, mit eben und wagerecht abgeschliffenem Rande aufsitzt. Das obere Ende der Ventilstange geht bei *d* lose durch eine ringförmige Oeffnung, wodurch ihre lothrechte Stellung gesichert ist. Das Gewicht der Stange ist bekannt und kann durch aufgelegte Gewichte *G* beliebig vermehrt werden. Es ist einleuchtend, dass die mittelst der Druckpumpe in den Kanal *k h g* eingetriebene Flüssigkeit auf das Ventil einen eben so starken Druck äussert als auf einen gleichgrossen Theil der Fläche des Presskolbens. So oft daher der Widerstand des letzteren verhältnissmässig grösser wird als die Belastung (das Gewicht) der Ventilstange, hebt sich die letztere und die eingedrungene Flüssigkeit muss durch die Ventilöffnung wieder austreten, ohne den Presskolben in Bewegung zu setzen. Widerstehen beide im Verhältniss zu ihren Querschnittflächen mit gleicher Stärke, so wird der Presskolben in Bewegung gesetzt, während zugleich ein Theil der Flüssigkeit durch das Ventil geht. Kennt man daher das Verhältniss der Weite der cylindrischen Oeffnung *c* zu der des Presscylinders, so lässt sich aus der Summe der Gewichte *G*, der gegen den Presskolben wirksame hydrostatische Druck berechnen. Die hydraulische Presse wird hierdurch ein zu manchen Zwecken, z. B. zur Ermittlung des Maasses bedeutender Cohäsionskräfte sehr brauchbarer Messapparat.

Diffusion und Apsorption der Gase.

229. Wenn man eine Luftmenge von gegebnem Rauminhalte (v) und gegebner Spannkraft (b) mit einer andern Luftmenge, deren Rauminhalt (v′) und Spannkraft (b′) ebenfalls bekannt sind in einem Raume V zusammenbringt, so bildet sich eine mittlere Spannkraft:

$$B = \frac{v\,b + v'\,b'}{V}$$

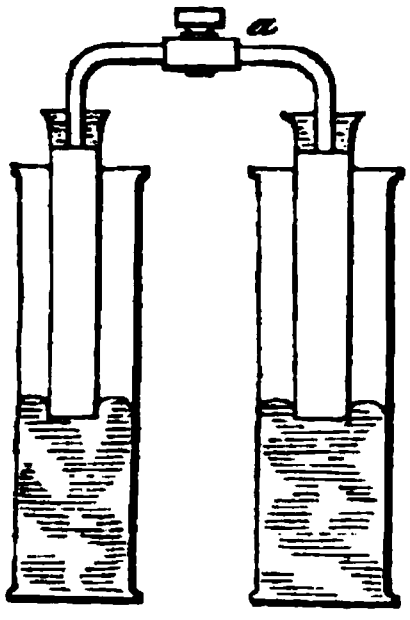
gerade so, als ob jede Luftmenge sich im ganzen Raume V vertheilte und ihre dadurch veränderten Spannkräfte sich addirten. Diess lehrt das mariottische Gesetz (200).

Verschiedenartige Gase, insofern sie nicht chemisch auf einander wirken (d. h. insofern nicht ihre kleinsten Theile durch gegenseitige chemische Anziehung eine Veränderung in der Grösse ihrer abstossenden Kräfte erleiden), müssen sich, in denselben Raum gebracht, gerade so verhalten wie gleichartige Gase; d. h. es muss ein mittlerer Druck $B = \frac{b\,v + b'\,v'}{V}$ entstehen. Dieser Schluss wird durch die Erfahrung, z. B beim Zusammentreten von Sauerstoff und Wasserstoff oder irgend zweier anderer Gase vollkommen gerechtfertigt.

230. Verschiedenartige Gase, die in Berührung mit einander treten, bilden, auch wenn sie nicht chemisch auf einander wirken, nach und nach ein ganz gleichförmiges Gemenge. Ihre mittlere Spannkraft $B = \frac{b\,v + b'\,v'}{V}$ wird dadurch nicht verändert. Eine solche Vertheilung zweier oder auch mehrerer Gase durcheinander findet nach und nach selbst dann statt, wenn die Behälter, worin

sie sich zuerst befinden, nur durch eine enge Oeffnung in Verbindung gesetzt werden. Dieses Verhalten ist durch die chemische Analyse der gebildeten Gasgemenge ausser Zweifel gestellt.

Fig. 77.



Man verbinde z. B. zwei getheilte Glascylinder (Fig. 77), welche, der eine mit kohlensaurem Gas, der andere mit Wasserstoffgas, beide über Quecksilber gefüllt sind, durch eine Glasröhre von etwa 1 Linie Weite. Im Umfange beider Gase, so lange man auch den Apparat sich selbst überlassen mag, wird keine Veränderung eintreten, welche sich nicht aus dem veränderten Thermometer- oder Barometerstande erklären liesse. Lässt man aber nach einiger Zeit und nach Abschluss des Hahns *a* in beide Behälter Aetzkali eintreten, so wird man finden, dass in beiden genau gleiche Raumtheile Kohlensäure verdichtet werden. Die Vermengung geht indessen nur langsam vor sich und erfordert, um ganz gleichförmig zu werden, wenigstens 5 bis 6 Tage Zeit.

Die atmosphärische Luft ist ein derartiges gleichförmiges Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff. Irgend beliebige andere Gase, die sich nicht chemisch anziehen, verhalten sich auf dieselbe Art. Ihre vollständige Vermengung erfolgt um so schneller, je grösser der Unterschied ihrer specifischen Gewichte und je weiter die Oeffnung, durch welche sie zu einander übertreten können.

Die Erscheinung der allmähligen Ausbreitung eines Gases in dem Raume eines andern hat den Namen Diffusion erhalten. Gase von gleicher Spannkraft mengen sich durch Diffusion ohne die geringste Veränderung ihrer Temperatur.

Die Diffusion, als Eigenschaft aller ausdehnsam flüssigen Körper, die nicht chemisch auf einander wirken, ist von Dalton, wenn nicht zuerst beobachtet, doch zuerst mit Sicherheit nachgewiesen, und als Erfahrungsgesetz auf folgende Art ausgesprochen worden: Ein Gas verhält sich gegen das andere wie ein leerer Raum. Bei dieser Ausdrucksweise der Erscheinung ist natürlich nur das Endresultat nach eingetretenem Ruhezustand berücksichtigt. Sie gibt keinen Aufschluss über den Vorgang selbst oder über die Ursache desselben. — Die Ursache der Diffusion ist das ungleiche specifische Expansiv-Vermögen verschiedenartiger Gase. Werden z. B. zwei Behälter in Verbindung gesetzt, von welchen der eine Sauerstoff, der andere Wasserstoff enthält, so ist ein Gleichgewicht der Spannkräfte beider Gase nicht genügend um einen dauernden Ruhezustand herbeizuführen, weil die abstossende Kraft der kleinsten Theile des Wasserstoffs 16mal so gross ist als die der Sauerstofftheile. Erstere müssen daher überall wo sie den letzteren angänzen zwischen denselben eindringen. Weil aber das hierdurch gestörte Gleichgewicht der Spannkraft alsbald wieder hergestellt werden muss, so gelangen auch Theile des Sauerstoffs in den Raum, welchen der Wasserstoff verlassen hatte, und diese Wirkung währt fort, so lange bis jedes Gastheilchen von allen Seiten her eine gleiche Abstossung erfährt, d. h. bis eine gleichförmige Durchmengung der verschiedenartigen Gase bewerkstelligt ist.

Dass die Diffusion zweier Gase von gleicher Spannkraft von keiner Temperaturveränderung begleitet ist, erklärt sich aus dem von Düloug bewiesenen Satze (203), dass gleiche Volume verschiedener, jedoch gleich stark gespannter Gase, während ihrer Ausdehnung gleiche Wärmemengen verschlucken und bei der Verdichtung sie wieder frei machen.

231. Feste und flüssige Körper besitzen die Eigenschaft, wenn

sie mit Gasen in Berührung kommen, einen bald mehr bald weniger grossen Theil derselben auf ihrer Oberfläche zu verdichten. Diese Eigenschaft wird Absorption genannt. Sie zeigt sich bei verschiedenen Körpern zu demselben Gase, und eben so bei ein und demselben Körper zu verschiedenen Gasen in sehr ungleicher Stärke, bei festen Körpern am auffallendsten, wenn sie poröse oder gepulvert sind. Bei keinem Körper scheint sie ganz zu fehlen.

So sehr verschieden die Absorptionsfähigkeit verschiedener Körper ist, so findet man doch im Allgemeinen, dass eine gegebene feste oder flüssige Materie von solchen Gasen die grössten Mengen einsaugt, die sich durch äusseren Druck am leichtesten in den flüssigen Zustand zurückführen lassen (siehe Tafel XIII). Durch die Stärke ihres Absorptionsvermögens für manche Gase zeichnen sich unter den festen Körpern insbesondere aus: die Holzkohle und mehrere Metalle in fein vertheiltem Zustande, wie Blei und Eisen, deren pulverförmige Oxyde durch Wasserstoff reducirt sind, vor allen aber Platin im Zustande als Platinmohr (aus einer Platin-Chlorür-Lösung durch Weingeist niedergeschlagenes schwarzes Platinpulver). Das letztgenannte Präparat verschluckt nach Döbereiner das 250fache seines Volums Sauerstoffgas, und wird in Folge der dabei frei werdenden Wärme bis zum Glühen erhitzt. Auch die äusserst fein vertheilte Kohle des Faulbaumholzes, so wie sie zur Pulverfabrikation verwendet wird, absorbirt den Sauerstoff der Luft häufig mit solcher Schnelligkeit und in solcher Menge, dass sie sich dadurch entzündet (Auber).

Man leitet die Absorptionserscheinungen von derselben Ursache ab, welche die Flächenanziehung verschiedenartiger fester und flüssiger Stoffe bewirkt, nämlich von einem eigenthümlichen gegenseitigen Anziehungsvermögen (Adhäsionskraft), welches ihre kleinsten Theile, selbst dann, wenn sie nicht fähig sind, bestimmt charakterisirte chemische Verbindungen zu bilden, die einen mit grösserer, die anderen mit geringerer Stärke äussern. Diese Anziehungskraft zwischen der Oberfläche eines festen oder flüssigen Körpers und einem angränzenden Gase ist stark genug, um dem Expansivvermögen eines Theils des Gases das Gleichgewicht zu halten. Poröse und fein vertheilte Stoffe bieten der umgebenden elastischen Flüssigkeit bei gleicher Masse verhältnissmässig eine bedeutend vergrösserte Oberfläche, also eine grössere Anzahl Berührungspuncte dar. Der Betrag der Absorption muss daher, unter sonst gleichen Umständen bei porösen Körpern der grösste seyn.

Bei den Flüssigkeiten wird die Porosität durch die grosse Beweglichkeit der Theile ersetzt. Sie ist die Ursache, dass ein absorbirtes Gas, gleich einem aufgelösten Salze, sich nach und nach durch die ganze flüssige Masse gleichförmig vertheilt, und dass man die Sättigung einer Flüssigkeit mit einem Gase ungemein beschleunigen kann, wenn man beide im reinen Zustande zusammenschüttelt. Durch Aufnahme fremdartiger Stoffe kann die Absorptionsfähigkeit eines flüssigen Körpers in auffallendem Grade verändert werden. Z. B. reines Wasser in einer Atmosphäre von reiner Kohlensäure absorbirt von derselben etwas mehr als sein eignes Volumen; Zuckerwasser nur 0,72 Volume, gesättigtes Kochsalzwasser nur 0,33 Volume und eine Lösung von Chlorcalcium nur 0,26 Volume. Wirft man daher in Wasser, das mit Kohlensäure gesättigt ist, Zucker oder Salz, so muss ein Theil der absorbirten Kohlensäure wieder entweichen.

Die Absorption der Gase in tropfbaren Flüssigkeiten wird häufig mit dem Worte Auflösung bezeichnet.

232. Man hat gefunden, dass die Menge, welche eine gegebne Flüssigkeit von einem gegebnen Gase absorbiren kann, dem Volumen nach gemessen, bei unveränderter Temperatur, vom Drucke unabhängig ist. Z. B. reines Wasser, das bei gewöhnlicher Temperatur und unter mittlerem Atmosphärendruck 1,06 Volume Kohlen-

säure verschluckt, wird unter jedem anderen Drucke ebenfalls 1,06 Volume aufnehmen. Die Gewichtsmenge eines absorbirten Gases steht folglich in geradem Verhältnisse zum Drucke. Reines Wasser nimmt bei 10 Atmosphärendruck 10mal so viel, bei 14 Zoll Quecksilberstand nur halb so viel Kohlensäure auf, als unter dem gewöhnlichen Luftdrucke. Im leeren Raume verlieren die Flüssigkeiten alles Gas, welches sie eingesaugt hatten.

Die Absorptionsfähigkeit fester Körper richtet sich nicht nach diesem einfachen Gesetze, wenn schon sie ebenfalls vom äusseren Drucke abhängig ist und mit demselben zu- und abnimmt. Bringt man z. B. mit Kohlensäure gesättigte Kohle in die Barometerleere, so fällt das Quecksilber. Allein die Kohle hält etwas mehr als die Hälfte des Gases, womit sie sich gesättigt hatte, zurück, wenn der Druck bis zur Hälfte vermindert wird. Auch scheint es, dass feste Körper nicht alles Gas, welches sie eingesogen hatten, im leeren Raume wieder abgeben.

233. Erwärmen vermindert das Absorptionsvermögen. Durch höhere Temperaturgrade und gleichzeitiges Behandeln unter der Luftpumpe kann man daher die Körper von einem Gase, welches sie absorbirt hatten, wieder ganz befreien. Bei vielen festen Körpern ist jedoch hierzu die Glühehitze erforderlich.

Aus Flüssigkeiten lassen sich darin aufgelöste Gase durch längere Zeit fortgesetztes Sieden vollständig austreiben. Nur wenn dieses Gas Luft ist, ist Sieden unter der Luftpumpe erforderlich. Von der Oberfläche vieler fester Körper, Holz, Kohle, auch Glas, entbinden sich Luftblasen in Menge, wenn sie in heisses Wasser getaucht, oder auch in kälterer Flüssigkeit unter die Luftpumpe gebracht werden.

Die Veränderlichkeit des Absorptionsvermögens mit der Temperatur und mit dem Drucke zeigt, dass die Expansivkraft absorbirter Gase nicht in dem Grade gänzlich aufgehoben ist, wie dies bei der chemischen Verbindung eines festen oder flüssigen mit einem gasförmigen Stoffe der Fall seyn muss. Man wird dadurch zu der Vorstellung geleitet, dass die absorbirende Kraft auf eine gewisse, wenn auch für unsere Sinne nicht messbare Entfernung hin wirksam ist, und dass folglich der absorbirende Körper sich mit einer Gas-Atmosphäre von abnehmender Dichtigkeit umgibt. Zunächst der festen oder flüssigen Oberfläche, nämlich da wo sich die Anziehung am stärksten äussert, ist auch die Dichtigkeit des angezogenen Gases ein Maximum; sie vermindert sich von hier aus durch allmählige Abstufungen, in der Weise, dass an jedem Puncte dieser Atmosphäre, die Spannkraft des Gases im Gleichgewichte steht mit der Stärke der an diesem Puncte wirksamen Adhäsion und mit dem äusseren Drucke. Verschwindet der äussere Druck, so wird der Betrag der Absorptien auf einen verschwindend kleinen Werth zurückgeführt, gerade so wie die Luft an der Oberfläche der Erde, ungeachtet der von letzterer ausgehenden Anziehung, durch Wegnahme des äusseren Druckes, fast bis ins Unbegränzte verdünnt werden kann.

234. Bringt man einen Körper, der von irgend einem Gase verschluckt hat, in den Raum eines anderen Gases, so verbreitet sich das durch Absorption verdichtete in dem Raume des umgebenden ungleichartigen durch Diffusion. Man sagt: es dunstet ab, es verdunstet. Der Betrag der Absorption nimmt hierdurch in ähnlicher Weise, nur nicht mit derselben Schnelligkeit ab, wie wenn der um-

gebende Raum leer wäre. Dieses Diffusionsphänomen hört nicht früher auf, als bis die im Zustande der Absorption zurückgebliebne Gasmenge, der Spannkraft des frei gewordenen Antheils entspricht. Hat man z. B. Wasser das mit Kohlensäure bei gewöhnlichem Barometerstande *b* gesättigt ist, in einen verschlossenen Behälter gebracht, dessen kubischer Inhalt viermal so gross ist als der der Flüssigkeit, und welcher daher mit der letzteren noch drei Volume Luft aufnimmt; so erweitert die aufgelösste Kohlensäure ihren Umfang von 1,06 auf 4,06 Maasstheile. Davon verbreiten sich 3 im Raume der Luft, während 1,06 Theile von gleicher Dichtigkeit im Wasser zurückbleiben. Die Spannkraft der entwichenen Kohlensäure ist also $\frac{1{,}06 \,.\, b}{4{,}06}$

Es entweicht um so mehr von einem absorbirten Gase je grösser der umgebende Raum ist, mag dieser nun leer oder mit Luft oder einem andern luftförmigen Stoffe, der nur nicht von der Beschaffenheit des absorbirten seyn darf, angefüllt seyn. Bei Flüssigkeiten, die mit einem Gase gesättigt sind, lässt sich die Diffusion desselben in den Raum eines andern durch Vervielfältigung der Berührungspuncte befördern; indem man z. B. Kohlensäure haltiges Wasser mit Luft schüttelt, oder indem man den Strom eines andern Gases durch die Flüssigkeit leitet, wird das absorbirte Gas rasch ausgetrieben. Es ist nunmehr einleuchtend, dass Gase, die von einem absorbirenden Stoffe in einem dem äusseren Drucke entsprechenden möglichst grossen Verhältnisse eingesaugt werden sollen, demselben in ganz reinem Zustande, und unter Umständen dargeboten werden müssen, wobei der Stoff selbst nicht vorher schon ein anderes Gas aufnehmen konnte.

Wird ein Körper einem Gemenge mehrerer Gase ausgesetzt, so kann er von jedem derselben höchstens eine solche Menge aufnehmen, welche der Spannkraft des betreffenden Gases für sich genommen entspricht (es müssten denn die durch Absorption verdichteten Gase die Fähigkeit besitzen, im Raume des absorbirenden Körpers sich chemisch zu vereinigen). Die wirklich absorbirten Mengen, betragen aber meistens weniger, d. h. das Absorptionsvermögen eines Körpers für ein gewisses Gas wird vermindert, wenn er gleichzeitig noch ein anderes einsaugen kann, oder von diesem anderen bereits aufgenommen hat.

Z. B. Kohle, die an freier Luft gelegen und durch Aufnahme von etwas Sauerstoff, hauptsächlich aber von Wasser, ihr Gewicht um 15—20 Procent vermehrt hat, kann dann nur noch 15mal ihr eignes Volum Kohlensäure einsaugen, während sie im frisch geglühten und reinen Zustande 35 Volume davon absorbirt (Saussüre).

Das gewöhnliche Verfahren um feste Körper zu Absorptionsversuche vorzubereiten besteht darin, dieselben im luftleeren Raum möglichst stark zu erhitzen, oder dieselben wo möglich auszuglühen und dann unter Quecksilber abzulöschen. Aus dem Quecksilber gelangen sie unmittelbar in den Raum worin sich das Gas befindet, welches sie einsaugen sollen.

235. Wenn ein absorbirender Körper die Scheidewand zweier Gase bildet, dergestalt dass er auf der einen Seite fortdauernd wieder erhält, was er auf der andern durch Diffusion verloren hat; so erfordert die endliche Herstellung des Gleichgewichtszustandes, dass das absorptionsfähige Gas auf beiden Seiten der porösen Scheidewand eine gleiche Spannkraft besitze. Ein Theil dieses Gases dringt daher allmählig durch die Wand, oder wenn beide Gase absorbirt werden können, findet zwischen denselben ein Austausch statt.

Ein offner Glascylinder von 1 bis 1,5 Zoll Weite werde mit nasser Blase überbunden, die man dann durch Aussetzen an die Luft wieder trocken werden lässt. Hat man ein gutes Stück Blase gewählt, so zeigt sie sich so luftdicht, dass eine Quecksilbersäule von 3—4 Zoll Höhe in dem Cylinder ihren Stand Monate lang ganz unverändert behauptet. Der Cylinder werde über Quecksilber mit reiner Kohlensäure ganz angefüllt und der innere mit dem äusseren Spiegel ins Gleichgewicht gesetzt. Nach mehreren Tagen findet man, dass das Quecksilber im Cylinder gestiegen ist und zu steigen fortfährt, bis endlich, unter Voraussetzung eines unbegränzten äusseren Gasraums alle Kohlensäure aus dem inneren Raume verschwunden ist. Verhältnissmässig geht während dieser Zeit nur sehr wenig Luft durch die Blase in den Raum der Kohlensäure, obschon die Beendigung des Versuchs einen Zeitraum von 4—6 Wochen erfordert. Auf demselben Grunde, wie hier das Entweichen der Kohlensäure, beruht die von Sömmering zuerst beobachtete Entwässerung des Weingeistes, wenn derselbe in Gefässen aufbewahrt wird, deren Oeffnung man mit Blase überbunden hat. Der im Gefässe gebildete Wasserdampf geht nämlich in trockner Luft sehr leicht durch die Blase, während dieselbe für den Weingeistdampf einen fast hermetischen Verschluss bildet. — Allmählige Verunreinigung von Gasen, welche in Glasgefässen über Quecksilber oder Wasser abgeschlossen sind. — Auch das Entweichen des Wasserstoffs aus den kleinen Luftballons von Goldschlägerhaut und Kautschuck gehört zu dieser Klasse von Erscheinungen.

236. Ein poröser Stoff als Scheidewand zweier Gase, welche er mit ungefähr gleicher Begierde zu absorbiren vermag, lässt von dem leichtesten immer die grösste Menge durch.

Dieses Verhalten hat zuerst Döbereiner beobachtet; er fand nämlich, dass Wasserstoffgas, in einer gesprungenen Glasglocke über Wasser aufbewahrt, durch den Sprung fortging, indem das sperrende Wasser im Glase in die Höhe stieg. Der Versuch lässt sich bequemer anstellen und das Resultat nach wenigen Minuten beobachten, wenn man einen Glascylinder am einen Ende mit einem 4—6 Linien dicken Stöpsel von Gyps oder Thon verschliesst und dann, mit irgend einem Gase gefüllt, über Wasser oder Quecksilber gesperrt an der Luft stehen lässt. Ist das innere Gas ebenfalls Luft, so bemerkt man keine Veränderung; das innere Niveau über das äussere gehoben, erniedrigt sich, wenn der Stöpsel gut zubereitet war (Pogg. Ann. 28. 331.) auf eine erst nach mehreren Minuten bemerkliche Weise. Befindet sich in dem Cylinder ein Gas, das leichter ist als Luft, z. B. Wasserstoffgas, so beginnt die Sperrflüssigkeit sogleich zu steigen. Ist das eingeschlossene Gas schwerer als Luft, z. B. Kohlensäure, so vergrössert sich der innere Raum; die Sperrflüssigkeit sinkt.

Befindet sich auf der einen Seite der porösen Scheidewand die freie Luft, auf der andern Seite ein begränzter Raum, der mit Wasserstoffgass oder Sauerstoffgas oder kohlensaurem Gas oder einem beliebigen anderen Gase gefüllt ist, und wird der Druck auf beiden Seiten stets gleich erhalten, so findet von diesen verschiedenen

Gasen gegen die atmosphärische Luft ein Austausch in der Weise statt, dass die für je 1 Volum eingedrungener Luft ausgetretenen Gasmengen sich verhalten wie die Quadratwurzeln aus den specifischen Elasticitäten der verschiedenen gasförmigen Körper.

Z. B. Für 100 C. C. Luft, die durch einen Gypsstöpsel in einen getheilten Glascylinder, der Wasserstoff, über Wasser gesperrt, enthielt, eindrangen, waren 383 C. C. dieses Gases entwichen. Enthielt der getheilte Cylinder Sauerstoffgas, so waren davon nur 95 C. C. weggegangen; von kohlensaurem Gas nur 81 C. C. u. s. w. Diese Zahlen verhalten sich aber fast genau wie $1 : \sqrt{\frac{1}{0{,}0688}} : \sqrt{\frac{1}{1{,}1026}} : \sqrt{\frac{1}{1{,}5208}}$ oder wie 1 : 3,81 : 0,95 : 0,81, d. h. umgekehrt wie die Wurzeln aus den specifischen Gewichten der betreffenden Gase (206).

Dieses Erfahrungsgesetz ist von Graham entdeckt worden. Es liefert einen experimentellen Beweis, dass die Diffusion oder das Eindringen eines Gases in den Raum eines andern eine Folge ist des ungleichen specifischen Expansivvermögens verschiedener elastisch flüssiger Körper.

VII. Von den Dämpfen.

237. Dämpfe nennt man diejenigen gasförmigen Körper, welche sich aus tropfbaren Flüssigkeiten durch Erhöhung der Temperatur erzeugen lassen und die durch Abkühlung unter ihre Erzeugungstemperatur wieder in den tropfbar flüssigen Zustand zurücktreten (52).

Dass die Dämpfe ihrem Wesen nach zu den Gasen gehören, d. h. dass ihre Theile vollkommne Beweglichkeit und Spannkraft besitzen, zeigt zunächst der Vorgang, den man Sieden nennt. Die aus einer siedenden Flüssigkeit aufsteigenden Dampfblasen unterscheiden sich in nichts Wesentlichem von Gasblasen; auch müssen sie eine derjenigen der äussern Luft gleiche Spannkraft besitzen, weil sie sich sonst nicht unter dem Drucke der Atmosphäre entbinden könnten.

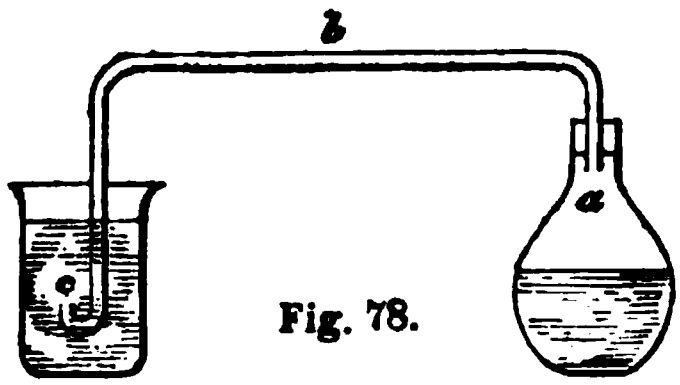


Fig. 78.

Wenn man Wasser in einem Glasgefässe *a* (Fig. 78) einige Zeit im Zustande des Siedens erhält, so wird nach und nach durch die aufsteigenden Dämpfe alle Luft aus dem Gefässe verdrängt. Leitet man hierauf die unter fortdauernder Einwirkung der Wärme entwickelten Dämpfe mittelst des Gasentbindungsrohrs *a b c* in kälteres Wasser, so werden die bei *c* austretenden Gasblasen, so wie sie mit der kältern Flüssigkeit in Berührung kommen, augenblicklich wieder in tropfbar flüssiges Wasser verwandelt. Diess geschieht, so lange die Temperatur im Gefässe *c* nur im Geringsten unter dem Siedpuncte steht. Hat aber endlich die Flüssigkeit *c* die Temperatur des Siedpunctes angenommen (85), so steigen die entbundenen Wasserdämpfe unverdichtet auf. Lässt man nach der Hand das Gefäss *a* unter den Siedpunct erkalten, so können die Dämpfe, welche es ausfüllen, dem Luftdrucke nicht länger widerstehen; die Flüssigkeit aus der Vorlage *c* wird daher durch das Entbindungsrohr in das Siedegefäss gepresst.

238. Die Siedpuncte tropfbarer Flüssigkeiten, oder diejenigen Temperaturgrade, wobei die Dampfbildung unterhalb der flüssigen

Oberfläche an den erhitzten Gefässwänden vor sich geht, haben wir früher (53 und Tafel VIII) als feste Temperaturen kennen gelernt. Diess gilt jedoch nur, so lange der Siedeprocess unter einem gegebenen und unveränderlichen Luftdrucke vor sich geht. Wird eine Flüssigkeit unter einem grösseren als dem gewöhnlichen Atmosphärendrucke erhitzt, so bedarf es einer höheren Temperatur, um sie zum Sieden zu bringen; bei abnehmendem Drucke sinkt die Temperatur des Siedpunctes.

Man findet z. B., dass der Siedpunct des Wassers sich mit dem Barometerstande verändert. Bei 324,8‴ Barometerhöhe siedet es schon bei 99°, bei 349‴ Höhe des Barometerstandes erst bei 101°. (Siehe Taf. XIV.) An der Meeresküste, in den Thälern bemerkt man stets einen höheren Siedpunct, als auf den Gipfeln der Berge. Auf dem Montblanc, bei einem Barometerstande von 43,5 Centimeter brachte Saussüre das Wasser schon bei 85° C. zum Sieden. — Sieden bei niedrigen Temperaturen unter der Luftpumpe. Pulshammer. — Füllt man einen Kolben von starkem Glase zum dritten Theile mit Wasser, bringt man dieses über der Spirituslampe zum Sieden, und erhält es einige Zeit in diesem Zustande, bis die Luft grösstentheils ausgetrieben ist, entfernt man dann das Gefäss vom Feuer und verschliesst es mit einem gut anschliessenden Korkstöpsel, so dauert der Siedeprocess noch einige Zeit fort, und kann befördert werden, wenn man den Hals des Gefässes abkühlt und dadurch eine fortwährende Verdichtung der aufsteigenden Dämpfe an der kalten Glaswand bewirkt. Aus diesem Grunde bemerkt man, wenn das ganze Gefäss unter kaltes Wasser getaucht wird, im Anfange ein sehr vermehrtes Aufkochen.

Dämpfe in luftleeren Räumen.

239. Das Wasser und andere tropfbare Flüssigkeiten besitzen also bei sehr verschiedenen Temperaturen die Fähigkeit, in den dampfförmigen Zustand überzugehen (Expansivvermögen). Aeusserer Druck, z. B. der der atmosphärischen Luft, ist ein Hinderniss dieses Uebergangs; eine Flüssigkeit siedet, wenn ihre Dämpfe unter dem Einflusse der Wärme die erforderliche Spannkraft gewinnen können, um dem Gegendruck von Aussen das Gleichgewicht zu halten. In leeren Räumen bilden sich Dämpfe bei jeder Temperatur, wobei eine Flüssigkeit überhaupt noch verdampfungsfähig ist. Die Dampferzeugung in leeren Räumen findet aber vorzugsweise an der flüssigen Oberfläche statt und ist gewöhnlich nicht von dem den Siedeprocess bezeichnenden Aufwallen begleitet.

240. Lässt man in die leere Kammer des Barometers bei gewöhnlicher Temperatur eine kleine Menge Wasser (mittelst einer gekrümmten Glasröhre (Fig. 79), deren zu einer feinen Spitze ausgezogenes Ende unter das Barometerrohr gebracht wird) eintreten, so wird die Quecksilbersäule durch die gebildeten Dämpfe um einige Linien niedergedrückt, gerade so, als ob eine Luftblase eingedrungen wäre. Die flüssige Säule nimmt indessen sogleich wieder eine feste Stellung ein, bei der sie sich behauptet, so lange die Tem-

Fig. 79.

peratur unverändert bleibt. Der Unterschied des früheren gegen diesen veränderten Stand des Quecksilbers gibt die Spannkraft des bei der herrschenden Temperatur entwickelten und den oberen Raum des Barometerrohrs ausfüllenden Wasserdampfs (198).

Verschiedene Flüssigkeiten, welche man auf ähnliche Weise, jede in die leere Kammer eines andern Barometers einführt, bewirken bei gleicher Temperatur einen sehr ungleichen Niederdruck der Quecksilbersäule, d. h. sie erzeugen Dämpfe von verschiedener Spannkraft.

Z. B. bei 15° Temperatur sinkt die Barometersäule durch den Druck des Wasserdampfes um 5,96 Par. Lin., durch den Druck des Weingeistdampfes um 11,29 Lin., durch den des Aetherdampfes um 134,16 Lin.

241. Wenn in dem leeren Raume, worin die Dampfbildung vor sich geht, Wasser im Ueberschusse vorhanden ist, so nehmen die Dämpfe eine gewisse Spannkraft an, welche, so lange die Temperatur sich nicht ändert, ebenfalls unveränderlich ist. Vergrössert man den Raum, so bilden sich neue Dämpfe, aber ohne Abnahme der Spannkraft. Vermindert man den Raum, oder setzt man die gebildeten Dämpfe einem grösseren Drucke aus, so kehren sie in den tropfbar flüssigen Zustand zurück.

Fig. 80.

Diess lehrt der folgende leicht anzustellende Versuch: Ein wenigstens 30—40 Zoll langes und etwa 4 Linien weites offenes cylindrisches Glasrohr werde in einen Quecksilber-Behälter von entsprechender Tiefe (Fig. 80) bis fast an den oberen Rand eingesenkt, der obere Raum, in den das Quecksilber nicht eindringen konnte, mit Aether ganz angefüllt und die Oeffnung luftdicht geschlossen. Wird dieses Rohr aus dem Behälter langsam hervorgezogen, so geht das eingeschlossene Quecksilber nur so lange mit in die Höhe, bis der Druck der gehobenen Säule, vermehrt um die Spannkraft des Aetherdampfes, dem Drucke der atmosphärischen Luft das Gleichgewicht halten kann. Z. B. bei einer herrschenden Temperatur von 15° und einem Barometerstande von 336‴ würde die gehobene Quecksilbersäule 336 — 134,16 = 201‴,84 betragen. So wie diese Grenze erreicht ist, bleibt der Unterschied des oberen und unteren Quecksilberspiegels unverändert, so weit auch das Rohr noch hervorgezogen werden mag, vorausgesetzt nur, dass die Temperatur sich nicht ändert, und dass stets etwas flüssiger Aether im Ueberschusse bleibt. Durch Erweiterung des Raumes über dem Quecksilber kann also nur die Menge des Dampfes vermehrt, aber Dichtigkeit und Spannkraft desselben kann nicht geändert worden seyn. Lässt man das Rohr niedergehen, so vermindert sich der Raum über dem Quecksilber und endlich wird aller Aetherdampf wieder zu flüssigem Aether verdichtet, bevor der Stand des Quecksilbers sich merklich erniedrigt hat.

242. Von Dämpfen, welche die grösste Spannkraft besitzen, welche sie bei der bestehenden Temperatur überhaupt annehmen können, sagt man: sie befinden sich im Maximum der Spannkraft oder der Dichtigkeit, oder auch wohl, es sind gesättigte Dämpfe; weil in dem Raume, welchen sie ausfüllen, ohne Erhöhung der Temperatur sich keine neuen Mengen desselben Dampfes verbreiten können, dagegen die geringste Verkleinerung dieses Raums, oder die geringste Abnahme der Temperatur sogleich eine theilweise

Verdichtung (Verwandlung in den tropfbar flüssigen Zustand) der vorhandenen Dampfmenge zur Folge hat.

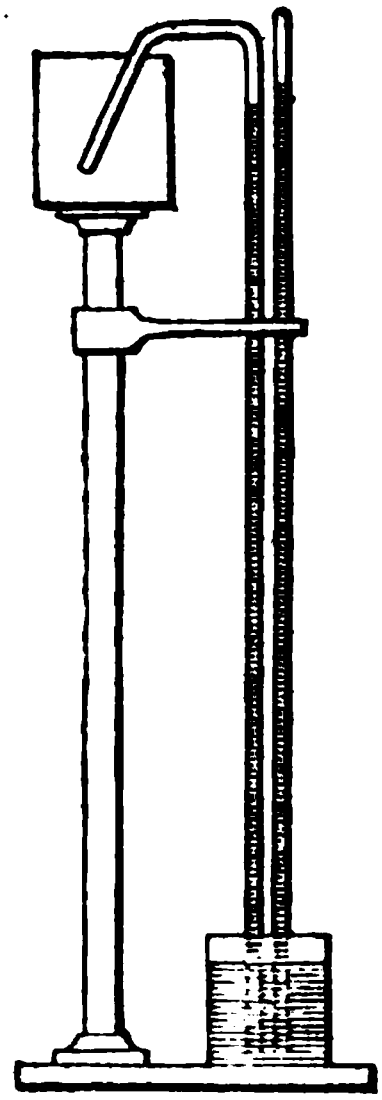
243. Die Spannungs-Maxima, oder grössten Spannkräfte aller Dämpfe wachsen mit ihrer Erzeugungstemperatur, jedoch in einem ungleich grösseren Verhältnisse als diese letztere. Es ist bis jetzt nicht gelungen, den Zusammenhang zwischen Temperatur und Spannkraft auf einfache, aus den Eigenschaften der Dämpfe selbst abgeleitete Gesetze zurückzuführen.

Um die Spannkraft der Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen zu messen, lassen sich mehrere Verfahrungsweisen in Anwendung bringen, welche im Wesentlichen auf die folgenden Principien zurückkommen: 1) Man beobachtet die Siedpuncte der Flüssigkeit unter verändertem äusseren Drucke. Dieser Druck, mit dem Barometer, oder, wenn der Verdampfungsprocess unter der Luftpumpe bei künstlich verringerter Luftspannung vorgenommen wird, mit dem Manometer (dem verkürzten Barometer) gemessen, gibt die Spannkraft des Dampfes bei der beobachteten Siedetemperatur. 2) Man lässt die Flüssigkeit in die leere Kammer eines Barometers eintreten und bestimmt den Niederdruck der Quecksilbersäule durch die bei verschiedenen Temperaturen gebildeten Dämpfe. Dieses Verfahren ist zuerst von Watt angewendet worden. Es eignet sich, gleichwie das vorhergehende, nur so lange die Spannkraft der Dämpfe weniger als ein Atmosphärendruck beträgt. 3) Die zu verdampfende Flüssigkeit befindet sich in einem Gefässe, welches, nachdem alle Luft sorgfältig daraus entfernt worden, luftdicht abgeschlossen ist, so dass auf die Oberfläche der Flüssigkeit nur noch die Spannkraft ihrer eignen Dämpfe wirksam bleibt. Der untere Theil des Gefässes communicirt mit einem senkrecht stehenden luftleeren Glasrohr, worin durch den Druck des gebildeten Dampfes eine Quecksilbersäule gehoben wird. Die senkrechte Höhe dieser Säule zeigt unmittelbar die Grösse der Spannkraft des Dampfes. G. G. Schmidt hat dieses Princip zuerst in Anwendung gebracht. Sein Apparat bestand aus einer Art Kugelbarometer (Fig. 81); in den kugelförmigen offenen Behälter desselben wurde die Flüssigkeit eingegossen, erhitzt und so lange kochend erhalten, bis alle Luft aus dem inneren Raume entfernt war; die zu einer feinen Spitze ausgezogene Oeffnung wurde hierauf zugeschmolzen, und der Apparat nach und nach verschiedenen Temperaturen ausgesetzt. Wenn das Glasrohr, worin das Quecksilber steigt, hoch genug ist, so kann auf diese Weise die Spannkraft eines Dampfes auch bei höheren Temperaturen, als der des gewöhnlichen Siedpunctes, gemessen werden. Auch kann man zur Bestimmung dieser höheren Spannungen ein Rohr nehmen, das oben offen ist. In diesem Falle ist zu der Steighöhe des Quecksilbers noch der Druck der Atmosphäre hinzuzufügen. — Befindet sich über dem Quecksilber Luft, welche oben durch das verschlossene Ende des Rohrs, unten durch das flüssige Metall abgesperrt ist, so wird diese durch die steigende Quecksilbersäule comprimirt. War nun ihre Spannkraft vor dem Beginne des Versuches bekannt, so lässt sich aus dem Grade der eingetretenen Verdichtung der Dampfdruck mit derselben Sicherheit, wie aus der senkrechten Erhebung einer Quecksilbersäule ableiten. Vermittelst eines auf dieses Princip gegründeten Apparates und bei Berücksichtigung aller derjenigen Hülfsmittel, welche die neuere Physik an die Hand gibt, so wie derjenigen Vorsichtsmaassregeln, welche Umsicht und vorgeschrittene Kenntnisse anriethen, haben Dülong und Arago im Jahre 1828 die Spannkraft des Wasserdampfs zwischen 100° bis 224° gemessen. (Pogg. Ann. B. 18, S. 437.) 4) Man kann die Spannkraft des Dampfes auch dadurch bestimmen, dass man dieselbe gegen ein Kugelventil wirken lässt, durch welches eine Oeffnung im Siedegefäss von bekanntem Umfange verschlossen ist. Dieses Ventil

Fig. 81.

kann durch aufgelegte Gewichte beliebig belastet und folglich durch den Druck des Dampfes nicht eher aufgestossen werden, als bis derselbe bei allmählig zunehmender Temperatur eine dem Gegendruck der Gewichte ganz gleiche Kraft gewonnen hat. Das zu dergleichen Versuchen zu benutzende Siedegefäss wird am besten aus getriebenem Kupfer angefertigt (Papin'scher Topf). Dionysius Papin hat mittelst eines solchen Apparates zuerst experimentell nachgewiesen (im Jahre 1690), dass das Wasser durch Erhöhung der Temperatur eine derjenigen der Luft ähnliche Elasticität annimmt, die sich aber durch Abkühlung wieder verliert. (Recueil de diverses Pièces, touchant quelques nouvelles Machines etc. par *M. D. Papin*, Dr. en Medicine, Professeur en Mathematique dans l'université de Marburg. Cassel, 1695.) Im Jahre 1819 hat Arzberger einen ähnlichen Apparat zu einer in der damaligen Zeit sehr geschätzten Arbeit über die Spannkraft hochgespannter Dämpfe benutzt. (Jahrbücher des polytechnischen Instituts in Wien, B. 1, S. 144.)

Fig. 82.



244. Bei weitem die grösste Zahl bis jetzt bekannter Untersuchungen über die Spannkraft gesättigter Dämpfe beziehen sich auf den Wasserdampf, dessen Spannkraft zwischen — 20° bis 224° so ziemlich genau bekannt ist (Tafel XV). Dass das Wasser auch bei Temperaturen unter dem Gefrierpuncte, d. h. im Zustande als Eis, Dämpfe bildet, hat Gay-Lüssac dadurch bewiesen, dass er eine kleine Menge Wasser, die er in das obere umgebogene Ende eines Barometers (Fig. 82) hatte eintreten lassen, mit einer Kältemischung umgab. Die Flüssigkeit erstarrte, aber gleichwohl blieb der Spiegel des Quecksilbers unter dem eines neben stehenden Barometers, dessen leere Kammer kein Wasser enthielt. Zwar befand sich stets ein Theil des Raums über dem Quecksilber in einer wärmeren Umgebung, nämlich der der äusseren Luft. Diess konnte jedoch auf die Grösse der gesuchten Spannkraft keinen Einfluss haben, weil nach Herstellung des Gleichgewichtszustandes im oberen Raume überall eine gleiche Spannkraft, folglich diejenige des unmittelbar aus dem Eise erzeugten Dampfes herrschen musste.

Die Tafel XV, welche eine Uebersicht der Spannkräfte gesättigter Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen gibt, ist rein empirisch entworfen; d. h. man hat lediglich auf den Grund einiger durch Versuche bestimmter Verhältnisse die fehlenden Zwischenglieder durch Probiren eingeschaltet oder interpolirt. Die hierzu nöthigen Rechnungsformen nennt man Interpolationsformeln. Es sind gleichsam künstliche Annäherungen zu dem bis jetzt unbekannten Gesetze, wonach die Spannkraft eines Dampfes aus der Temperatur desselben im Voraus müsste bestimmt werden können. Da nun diesen Formeln keine haltbare theoretische Vorstellung zu Grunde liegt, so haben sie auch nur Geltung innerhalb der Gränze der Thatsachen, auf welche sie sich stützen. Unter den zahlreichen Interpolationsformeln, die man zur Berechnung der grössten Spannkräfte des Wasserdampfes aufgestellt hat, schliessen sich die folgenden den bewährtesten Erfahrungsresultaten am genauesten an.

α) Egens Formel (Pogg. Ann. B. XXVII, S. 9) gewährt eine ziemlich gute Uebereinstimmung sowohl mit den bei niederen, wie mit den bei hohen

Temperaturen gemessenen Spannkräften. $t^0 = 100^0 + 64{,}29512 \log. e + 13{,}89479 (\log. e)^2 + 2{,}909769 (\log. e)^3 + 0{,}1742634 \log. e)^4$. t^0 bedeutet hier Grade Cels., e die Spannkraft in Atmosphären ausgedrückt.

β) August's Formel (Pogg. Ann. B. XIII, S. 122) stimmt am besten für niedrige Spannkräfte.

$$\log. e''' = \frac{23{,}945371 \,.\, t^0}{800 + 3\, t^0} + 0{,}3506555$$

t^0 bedeutet Grade Cels; e''' gibt die gesuchte Spannkraft in Par. Lin.

γ) Biot's Formel (traité de Physique I, S. 277) für Spannkräfte über 20° und unter 100°

$$\log F = 1{,}8808201 + A\,N + B\,N^2 + C\,N^3$$

Die Spannkraft F wird in Centimetern gefunden. N bedeutet Grade Celsius, wenn man, von 100° als Nullpunct ausgehend, die fallenden Grade positiv, die steigenden negativ zählt.

Es ist $A = -0{,}01537278757$ $\log. A = 0{,}1867526 - 2$
$B = -0{,}00006731995$ $\log. B = 0{,}8281441 - 5$
$C = +0{,}00000003374$ $\log. C = 0{,}5281451 - 8$

δ) Von Mallet verbesserte Tredgold'sche Formel, für Spannkräfte von 1—4 Atmosphären.

$$100\, e = \left(\frac{t + 75}{85}\right)^6; \quad t + 75 = 85 \sqrt[6]{100\, e}$$

e bedeutet Meter, t Grade Cels.

ε) Dülong's Formel für Spannkräfte über 4 Atmosphären. e bedeutet hier Atmosphären, t Grade Cels.

$$e = (1 + 0{,}007153\ [t - 100])^5; \quad t - 100 = \frac{\sqrt[5]{e - 1}}{0{,}007153}$$

Mit Dülong's und Arago's Versuchen etwas genauer übereinstimmend ist endlich die folgende von Spasky (Pogg. Ann. B. XXX, S. 331) veränderte Formel

$$e = (1 + 0{,}00719\ [t - 100])^{4{,}9987}$$

Eine vollständige Zusammenstellung aller die Spannkraft des Wasserdampfes betreffenden Formeln findet man in Dove's Repertorium der Physik. B. I, S. 48, wo jedoch die Formeln β, γ, δ und ε unrichtig eingezeichnet sind.

Aufgabe: Wie verfährt man, um den Druck des Dampfes in Gewichten auszudrücken, wenn derselbe in Atmosphären gegeben ist (196).

Verschiedene Flüssigkeiten bilden, jede bei ihrem Siedpuncte genommen, gesättigte Dämpfe von gleicher Spannkraft. So zeigt z. B. Aetherdampf von 35,66° oder Alkoholdampf von 78,4° dieselbe Tension wie Wasserdampf von 100°. Nach einem von Dalton aufgestellten Gesetze hat man früher geglaubt, dass die Spannungsmaxima der verschiedenartigsten Dämpfe, von den Siedpuncten ihrer Flüssigkeiten ausgehend, für gleiche Zu- oder Abnahme der Temperatur ebenfalls gleich seyen; dass z. B. die Spannkraft des Alkoholdampfes bei 78,4° — 20° dieselbe sey, wie die des Wasserdampfes bei 100° — 20°. Dieses Gesetz hat sich jedoch nicht allgemein als richtig bewährt, wenn schon es in einigen Fällen, z. B. bei dem Alkohol und Schwefeläther, der Wahrheit ziemlich nahe kommt, und zu vorläufigen approximativen Bestimmungen wohl benutzt werden kann.

245. Dämpfe, welche von den Flüssigkeiten, woraus sie sich bildeten, getrennt und dann über ihre Erzeugungstemperatur erwärmt werden, oder welche man, ohne ihre Temperatur zu ändern und ohne dass neue Dämpfe hinzukommen können, in einen Raum von grösserem Umfange versetzt, folgen dem mariottischen Gesetze so wie dem für die permanenten gasförmigen Körper gel-

tenden Ausdehnungsgesetze. Der Zustand eines ungesättigten (oder überhitzten) Dampfes ist also innerhalb gewisser Gränzen ein bleibend gasförmiger Zustand.

Beispiel: In das cylindrische Rohr des Nr. 241 beschriebenen Apparates werde eine so geringe Menge Schwefeläther gebracht, dass dieselbe, während das Rohr hervorgehoben wird, bald vollständig verdampft, mithin durch fortgesetzte Vergrösserung des Raums über dem Quecksilber, zwar der vorhandene Dampf sich ausdehnen (expandiren), aber keine neue Dampfmenge hinzukommen kann; so bleibt die gehobene Quecksilbersäule nicht auf der dem Maximum der Spannkraft entsprechenden Höhe stehen. Angenommen, bei gleichbleibender Temperatur von 15° betrage die gehobene Quecksilbersäule bereits 204‴, folglich der Druck des Dampfes 336 — 204 = 132‴ und jede Spur tropfbarer Flüssigkeit sey verschwunden. Man fahre fort, das Rohr aus dem Quecksilberbehälter emporzuziehen, bis das Volum des Dampfes sich verdoppelt hat; die Höhe der Quecksilbersäule wird jetzt 270‴, daher die Spannkraft des Dampfes darüber nur 336 — 270 = 66‴ oder $\frac{132}{2}$ Linien betragen. Ebenso wird man finden, dass der Dampf bei dreimal grösserem Volumen nur noch ⅓ derjenigen Spannkraft, von der man ausgegangen war, beibehalten konnte.

Fig. 83.

Anderes Beispiel: Ein Glasrohr, am einen Ende offen, am andern zugeschmolzen und wie in Fig. 83 umgebogen, werde mit Quecksilber gefüllt. Dann lasse man etwas Aether in den kurzen Schenkel gelangen und giesse das flüssige Metall, so weit es den langen Schenkel ausfüllt, wieder aus, was bei der besonderen Gestalt des Rohrs geschehen kann, ohne ein Zurückfliessen des Aethers befürchten zu müssen. Taucht man den so hergerichteten Apparat in warmes Wasser von etwas höherer Temperatur, als der Siedpunct des Aethers, z. B. von 40°, so bilden sich Aetherdämpfe, welche bald den kurzen Schenkel des Rohrs ganz ausfüllen und den noch flüssigen Theil des Aethers nöthigen, in den langen Schenkel und über das Quecksilber zu treten. Die auf diese Weise von ihrer Erzeugungsflüssigkeit getrennten und bis zu 40° erwärmten Dämpfe besitzen nicht mehr das Maximum ihrer Spannkraft, wenn der Quecksilberspiegel in beiden Schenkeln wenig oder gar nicht verschieden ist. Durch Erwärmung des umgebenden Wassers auf 60°, 80°, 100° vergrössern sie ihren Umfang. Verhindert man aber ihre Ausdehnung durch Zusetzen von Quecksilber in den langen Schenkel des Rohrs, so ergibt sich aus der Höhe der hierzu nöthigen Quecksilbersäule, dass die Spannkraft des ungesättigten Aetherdampfs bei gleichbleibendem Volum, aber steigender Temperatur, ganz so, wie die eines permanenten Gases zunimmt. Hieraus folgt nun, dass auch das Ausdehnungsgesetz der Dämpfe mit dem der permanenten Gase übereinstimmen muss (201). — Wird der im kurzen Schenkel eingeschlossene und z. B. auf 60° erhitzte Dampf ohne weitere Aenderung seiner Temperatur comprimirt, indem man fortfährt, Quecksilber im langen Schenkel zuzusetzen, so findet man, dass die Volums-Verminderung dem mariottischen Gesetze entspricht.

246. Durch Abkühlung und Druck können ungesättigte Dämpfe in den Zustand gesättigter Dämpfe zurückgeführt werden. Z. B. Wasserdampf von 120,°7, der eine Spannkraft von nur 1 Atmosphärendruck besitzt und folglich (siehe Taf. XV) das Maximum seiner Dichtigkeit bei dieser Temperatur noch nicht erreicht hat, verwandelt sich in einen gesättigten Dampf, wenn er bis zu 100° abgekühlt, oder ohne Aenderung der Temperatur, einem doppelten

Drucke ausgesetzt und dadurch auf die Hälfte seines anfänglichen Volums verdichtet wird. Wäre die anfängliche Temperatur des unter dem Drucke der Atmosphäre befindlichen Dampfes 134,°2 gewesen, so würde er erst durch Verdichtung auf ein Drittheil des anfänglichen Volums seine grösste Spannkraft annehmen. Man sieht hieraus, dass die mit der Temperatur wachsende Maximums-Spannkraft eine unmittelbare Folge davon ist, dass diejenige Dichtigkeit, wobei ein Dampf noch fähig ist, sich in der Gasform zu erhalten, mit der Temperatur zunimmt.

Die vorzugsweise sogenannten permanenten Gase behaupten ebenfalls nur innerhalb gewisser Gränzen den Gaszustand (199) und verhalten sich also ganz wie ungesättigte Dämpfe. So gelangt z. B. schwefligsaures Gas, unter 1 Atmosphärendruck bei -10^0, unter 3 Atmosphärendruck schon bei $+12,^05$ auf die Gränze seines gasförmigen Zustandes. Kohlensaures Gas muss bis zu -50^0 abgekühlt werden, um unter dem gewöhnlichen Atmosphärendruck eine Maximums-Spannkraft annehmen zu können.

Dämpfe gemengt mit Gasen; Verdunstung.

247. Die Dämpfe besitzen die Eigenschaft, sich im Raume permanenter Gase in ähnlicher Weise auszubreiten wie permanente Gase unter einander. Lässt man z. B. Wasser-, Alkohol- oder Aether-Dampf in die Luft ausströmen, so vertheilt er sich, gleich einem ausströmenden Gase, mit grosser Schnelligkeit und nach allen Richtungen. Die atmosphärische Luft enthält, wie man weiss, zu jeder Zeit und bei jeder Temperatur Wasserdämpfe in grosser Menge.

248. Wasser oder jede andere Flüssigkeit, die fähig ist, Dämpfe zu bilden, der freien Luft ausgesetzt, verliert allmählig von ihrem Gewichte. Bringt man eine mit Wasser gefüllte Schale unter eine Glasglocke, die Luft oder irgend ein anderes Gas enthält, und stellt man neben diese Schale ein Gefäss mit concentrirter Schwefelsäure, welche bekanntlich die Eigenschaft besitzt, die Wasserdämpfe aus der Luft anzuziehen und sich dadurch zu verdünnen; so wird man nach einiger Zeit finden, dass die Säure Wasser aufgenommen und dass dabei ihr Gewicht um eben so viel sich vergrössert hat, als das des Wassers in der Schale sich verminderte.

Flüssigkeiten bei Temperaturen, wobei sie Dämpfe zu erzeugen vermögen, der Luft ausgesetzt, verhalten sich also, wie wenn sie einen gasförmigen Körper, nämlich ihren eignen Dampf, durch Absorption verdichtet, enthielten.

Diese Eigenschaft tropfbarer Flüssigkeiten, im Raume der Luft oder anderer Gase ganz unabhängig vom äusseren Drucke und selbst ohne die Mitwirkung künstlicher Erwärmung zu verdampfen,

wird Verdunstung genannt. Die Ursache der Verdunstung ist im Wesentlichen dieselbe wie die der Diffusion permanenter Gase.

249. Wenn eine Flüssigkeit in einem Gasraume von begränzter Grösse im Ueberschusse vorhanden ist, so verdunstet ein genau eben so grosser Theil derselben, als bei derselben Temperatur in demselben Raume, luftleer gedacht, in die Dampfform hätte übergehen müssen; und der so gebildete Dampf, für sich betrachtet, besitzt eine genau eben so grosse Spannkraft, als er bei derselben Temperatur im leeren Raume annehmen würde. Die Spannkraft eines Gemenges von Gas und Dampf ist folglich gleich der Summe der Pressungen, welche das Gas, wenn es bei unverändertem Raume allein vorhanden wäre, und der Dampf, wenn er allein vorhanden wäre, ausüben würden.

Fig. 84.

In einem doppelschenklichen Glasrohr, wie Fig. 84 gebogen, dessen kurzer Schenkel in gleiche Unterabtheilungen gebracht und bei *a* geschlossen ist, werde ein beliebiges Volum *a b* trockner Luft mittelst Quecksilbers abgesperrt. Man messe die Spannkraft dieser eingeschlossenen Luft, giesse sodann Quecksilber in den offenen Schenkel, bis er fast angefüllt ist, fülle ihn gänzlich mit Aether, schliesse mit dem Finger und lasse durch passende Neigung des Rohrs den Aether in den Raum *a b* so eintreten, dass von der abgesperrten Luft nichts entweichen kann. Lässt man endlich von dem eingegossenen Qnecksilber wieder so viel abfliessen, bis das frühere Luftvolum *a b* sich wieder hergestellt hat, so wird man finden, dass sich die innere Spannkraft genau um so viel vermehrt hat, als das Spannungsmaximum des Aetherdampfs bei der bestehenden Temperatur und im luftleeren Raume ausmacht. Durch Erhöhung der Temperatur, bei ungeändertem äusseren Drucke, würde die eingeschlossene trockne Luft allein z. B. den Raum *a c* einnehmen. Regulirt man die Quecksilbersäule im offenen Schenkel, so dass das Volum *a c* sich wirklich herstellt und misst dann den Stand des Quecksilbers, so findet man auch jetzt den inneren Druck gleich demjenigen der Luft für sich, vermehrt um das Spannungsmaximum des Dampfes für die nunmehr veränderte Temperatur. Sucht man die Temperatur des eingeschlossenen Gasgemenges beständig zu erhalten, verändert aber die Höhe der Quecksilbersäule im offenen Schenkel, indem man von dem flüssigen Metalle zusetzt, oder davon abfliessen lässt, so wird sich stets ergeben, dass das gleichzeitig veränderte innere Gasvolum sich zu dem anfänglichen Volum *a b* verhält, umgekehrt wie die anfängliche Spannkraft der eingeschlossenen trocknen Luft zu der zuletzt gemessenen Spannkraft, nachdem das Spannungsmaximum des Dampfes davon abgezogen worden. Die Dichtigkeit des mit der Luft gemengten Aetherdampfes ändert sich also nicht, so lange die Temperatur beständig bleibt, welche Veränderungen auch das Volum *a b* erleiden mag. Jede Erweiterung dieses Volums hat mithin die Bildung neuer Dämpfe zur Folge, jede Verminderung bewirkt, dass ein verhältnissmässiger Theil des vorhandenen Dampfes in den tropfbar flüssigen Zustand zurückgeführt wird, ganz so, wie es im leeren Raume geschieht. — Mit demselben Erfolge würde man statt des Aethers irgend eine andere Flüssigkeit, oder statt der Luft ein anderes permanentes Gas haben wählen können.

Dämpfe und permanente Gase, vermengt, bestehen also ganz unabhängig von einander, gerade so, als wäre jedes in dem gegebenen Raume allein vorhanden. Dieses Erfahrungsgesetz, da es für gesättigte Dämpfe wahr ist, muss um so mehr für ungesättigte Geltung haben; eine Ausnahme erleidet es, so weit

bekannt, nur dann, wenn ein gasförmiger Körper mit einem Dampfe eine feste chemische Verbindung einzugehen vermag. Z. B. salzsaures Gas, mit Wasserdampf gemengt, verdichtet sich damit zu flüssiger Salzsäure.

Früher glaubte man, verdunstende Flüssigkeiten lösten sich in der Luft auf, ähnlich wie Salze im Wasser, und hielt demnach die Verdunstung für eine chemische Aktion. Der Ausdruck: mit Dampf gesättigte Luft rührt aus jener Zeit her. Diese Ansicht musste aufgegeben werden, nachdem Delüc gezeigt hatte, dass die Spannkraft der Dämpfe in leeren, gleich wie in von Gas erfüllten Räumen nur von der Temperatur abhängt, und nachdem man durch das von Dalton entdeckte Gesetz des Verhaltens gasförmiger Körper gegen einander den Schlüssel zu einer ungleich befriedigenderen Erklärung der Verdunstungsphaenomene gefunden hatte.

250. Wenn schon die Dampfbildung in der Luft nach demselben Gesetze vor sich geht, wie im leeren Raume, und zuletzt auch immer zu demselben Resultate führen muss, so findet doch hinsichtlich der Zeit eine grosse Verschiedenheit statt.

Im luftleeren Raume erheben sich die Dämpfe von jedem Puncte der flüssigen Oberfläche mit einer von ihrem eigenthümlichen Expansiv-Vermögen allein abhängigen Geschwindigkeit. Wasserdampf z. B. entwickelt sich, je nach der Temperaturhöhe, mit einer Geschwindigkeit von 1600—1800 Fuss in der Sekunde und erreicht daher in einem geschlossenen, luftleeren Gefässe fast augenblicklich das Maximum seiner Dichtigkeit. Die Luft widersetzt sich dieser schnellen Ausbreitung des Dampfes, mehr oder weniger je nach dem Grade ihrer Dichtigkeit. Die Verdunstung geht daher auffallend langsamer vor sich als die Dampfbildung im leeren Raume.

Fig. 85.

Man verschaffe sich zwei, wie Fig. 85 gebogene, 6 bis 8 Linien weite und an beiden Enden zugeschmolzene Glasröhren, von welchen die eine luftleer, die andere mit Luft gefüllt ist, und die beide ungefähr gleiche Mengen Wasser oder Alkohol enthalten. Diejenigen Arme beider Röhren, worin sich die Flüssigkeit befindet, stelle man neben einander in warmes Wasser, während der übrige Theil dem abkühlenden Einflusse der Luft ausgesetzt bleibt. In dem luftleeren Rohr wird die Flüssigkeit in ungleich kürzerer Zeit, als in dem lufthaltigen, überdestilliren.

251. Im Allgemeinen verdunsten die Flüssigkeiten um so rascher, je grösser die Spannkraft ihrer gesättigten Dämpfe bei der herrschenden Temperatur. — Aether, Alkohol, Wasser-Wärme befördert die Verdunstung, weil sie die Expansivkraft der Dämpfe vermehrt.

Das Bestreben einer Flüssigkeit, zu verdunsten, nimmt ab, je mehr der umgebende Raum bereits mit ihren Dämpfen gesättigt ist, und hört ganz auf, sobald die gebildeten Dämpfe ihre grösste Dichtigkeit erreicht haben. Durch Erwärmung wird daher die Verdunstung nicht nur beschleunigt, sondern auch der Effect derselben vergrössert.

Die Gewässer auf der Oberfläche unserer Erde, feuchter Boden und alle nassen Körper verdunsten bei jeder Temperatur. Sogar das Eis verdunstet, denn in trockner, wenn auch noch so kalter

Luft verliert es allmählig von seinem Gewichte. Trockner Wind beschleunigt die Verdunstung, indem er durch fortdauernden Wechsel des mit der verdunstenden Flüssigkeit in Berührung stehenden Luftraums den Eintritt des Sättigungspunctes hindert. Aber auch bei ruhiger Luft wird die Verdunstung selten ganz unterbrochen, weil die Dämpfe das specifische Gewicht der Lufttheile, womit sie sich mengen, vermindern und dadurch ein allmähliges Erheben derselben bewirken.

Austrocknen feuchter Körper durch Aussetzen an die Luft. Salzgradirwerke müssen eine Lage erhalten, in welcher sie dem Zudrange trockner Winde möglichst ausgesetzt sind. — Im Inneren benetzte Gefässe, Glasröhren, lassen sich durch Wärme allein, zumal wenn sie enge Ausmündungen haben, nicht austrocknen; wenn man aber die innere Luft wiederholt mit trockner vertauscht und gleichzeitig erwärmt, so wird bald jede Spur von Feuchtigkeit entfernt.

In ganz offenen Gefässen, in welchen der Wechsel der Luft durch nichts gehindert ist, bilden sich aus dem Wasser und selbst aus Flüssigkeiten von viel geringerer Flüchtigkeit, z. B. aus Salpetersäure von 1,42 specifisches Gewicht, die erst bei 120° siedet, aus dem erst bei 156° siedenden Terpentinöl u. s. w., bei Temperaturen weit unter dem Siedpuncte Dämpfe in reichlicher Menge, während die Verdunstung in, wenn auch nur lose bedeckten Gefässen fast ganz unterbrochen wird. — Aus demselben Grunde lässt sich kohlensaurer Kalk in bedeckten Gefässen, selbst bei der heftigsten Glühhitze nicht kaustisch machen; wird aber die Kohlensäure, wie sie sich entbindet, sogleich durch einen Gasstrom fortgeführt, z. B. durch Erhitzen im offnen Feuer, so kann sie ohne Schwierigkeit vollständig ausgetrieben werden.

Specifisches Gewicht der Dämpfe.

252. Der Rauminhalt der Dämpfe steht zu dem der Flüssigkeiten, woraus sie sich bildeten, in keinem, durch ein bis jetzt bekanntes Gesetz ausdrückbaren Zusammenhange. Doch bemerkt man leicht, dass die Dämpfe, verglichen mit ihren Erzeugungs-Flüssigkeiten, stets einen sehr grossen Umfang einnehmen. So erhält man unter dem gewöhnlichen Luftdrucke und bei 100° C, aus 1 K. Z. Wasser 1700 K. Z. Wasserdampf; aus 1 K. Z. Alkohol 658,5 K. Z. Alkoholdampf; aus 1 K. Z. Aether 408 K. Z. Aetherdampf. Die Dichtigkeit der Dämpfe ist also wie die der permanenten Gase, unter gewöhnlichen Verhältnissen sehr gering.

Das Verhältniss des Rauminhaltes eines Dampfes zu seinem Gewichte und daraus sein specifisches Gewicht kann ausgemittelt werden, entweder indem man eine abgewogene Menge Flüssigkeit sich in Dampf verwandeln lässt, und bei einer bestimmten Temperatur und unter bestimmtem Drucke das Volum desselben misst; oder indem man den Dampf selbst wiegt, welcher ein Gefäss (z. B. eine Glaskugel) von bekanntem Inhalte, bei einer bestimmten Temperatur und unter bestimmtem Drucke ausfüllt.

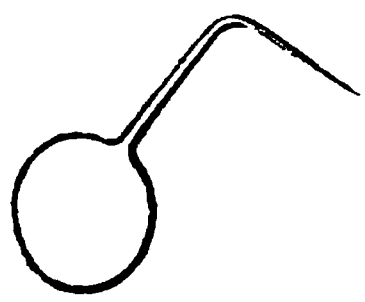
Nach der ersten Methode hat zuerst Gay-Lüssac die Dichtigkeit der Dämpfe des Wassers, Alkohols, Aethers und Schwefelkohlenstoffs bestimmt, indem er kleine, vor der Lampe angefertigte Blasen von sehr dünnem Glase mit der zu prüfenden Flüssigkeit anfüllte, und auf diese Weise im Stande war, eine

abgewogene Menge der letzteren in dem inneren Raume eines mit Quecksilber gefüllten, getheilten Glascylinders aufsteigen zu lassen. Wurde dieser hierauf mit heissem Wasser umgeben, so erwärmte sich die in den kleinen Glasblasen eingeschlossene Flüssigkeit, zersprengte die dünne Hülle und verwandelte sich in Dampf, indem das Quecksilber herabgedrückt wurde. Der Raum des gebildeten Dampfes führte unmittelbar zu dem gesuchten Verhältnisse. Eine ausführliche Beschreibung dieses Verfahrens, das sich jedoch nur auf leicht verdampfbare Flüssigkeiten anwenden liess, findet man in Biot's traité de physique I, 291.

Die andere Methode gestattet, bei etwas geringerer Genauigkeit, eine weit allgemeinere Anwendung. Sie ist zuerst von G. G. Schmidt, später in sehr vervollkommneter Weise von Dumas in Ausführung gebracht worden, und bildet gegenwärtig ein werthvolles Hülfsmittel des Chemikers, um die durch chemische Analyse gefundene Zusammensetzung mancher Stoffe, insbesondere flüchtiger organischer Verbindungen, einer scharfen Controle zu unterwerfen.

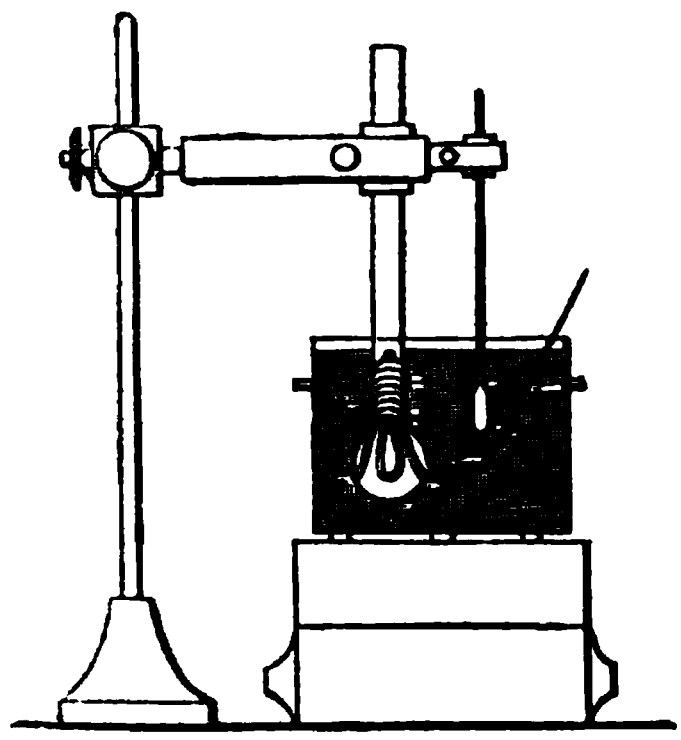
Ein Glaskolben von 300—500 C. C. Inhalt wird mit Beihülfe der Luftpumpe und einer Chlorcalcium enthaltenden Vorlage mit trockner Luft gefüllt, hierauf sein Hals so nahe wie möglich am Bauche des Kolbens zu einer 6—8 Zoll langen engen Röhre ausgezogen und diese wie in Fig. 86 gebogen. Das Gewicht des so hergerichteten Gefässes, mittelst einer feinen chemischen Wage bestimmt, sey P, bei einem Barometerstande von b''' und der Temperatur $t°$. Man lasse einen Ueberschuss der zu verdampfenden Flüssigkeit (höchstens 10 Grm.) eintreten, indem man durch mässiges Erwärmen des Glases einen Theil der innern Luft austreibt, dann die Spitze des ausgezogenen Halses in die Flüssigkeit eintaucht, worauf diese beim Erkalten eingesogen wird. Um die Verdampfung zu bewerkstelligen, setzt man den Glaskolben einer erhöhten, möglichst gleichförmig einwirkenden Temperatur aus, die nach und nach bis zu 30 oder 40° über den Siedpunct der Flüssigkeit gesteigert werden muss.

Fig. 86.



Man wählt hierzu am besten ein Bad, nach Erforderniss von Wasser, Chlorcalciumlösung, Chlorzinklösung, concentrirter Schwefelsäure, leicht schmelzbarer Metall-Legirung u. s. w., worin der Kolben etwa so, wie Fig. 87 zeigt, festgehalten wird. Die im Ueberschusse gebildeten Dämpfe entweichen mit Geräusch durch die enge Oeffnung des aus dem Bade hervorragenden Halses und reissen die Luft grösstentheils mit fort. Wenn keine Dämpfe mehr ausströmen, also die innere Spannung sich mit der äusseren in's Gleichgewicht gesetzt hat, was man am sichersten daraus erkennt, dass der Feuchtigkeitsniederschlag an der engen Ausmündung des Kolbens sich nicht mehr vermehrt; wenn dann durch Annähern einer glühenden Kohle alle noch anhängende Flüssigkeit vollständig entfernt ist, wird die feine Spitze mittelst des Löthrohrs zugeschmolzen. Zugleich merkt man den Barometerstand (B) und die Temperatur des Bades (T), welche auch als die des Dampfes angenommen wird. Es muss Sorge getragen werden, die Temperatur des Bades gegen Ende des Versuchs hin möglichst unveränderlich zu halten; ein gutes und empfindliches Thermometer ist desshalb fortwährend in die Flüssigkeit eingesenkt. Der Glaskolben wird nun aus dem Bade genommen, gereinigt, getrocknet, und wenn er erkaltet ist, von Neuem gewogen. Das gefundene Gewicht werde durch Q bezeichnet.

Fig. 87.



Es bleibt noch der Rauminhalt des Kolbens ausfindig zu machen. Zu dem Ende wird die Spitze desselben unter reinem, möglichst luftfreien Wasser oder Quecksilber abgebrochen; die Flüssigkeit dringt ein und füllt den inneren Raum ganz oder beinahe ganz aus. Zum drittenmal gewogen, findet man R Gramme bei einer Temperatur von t'°.

Gewöhnlich zeigt sich ein kleiner Luftrückstand über dem eingedrungenen Wasser. Um den Umfang desselben zu erhalten, muss der Kolben mit Wasser ganz angefüllt und nochmals gewogen werden. Angenommen, das Resultat dieser letzten Wägung sey S Grm.

Es kommen also im Ganzen vier Wägungen vor, aus welchen die Dichtigkeit des Dampfes auf folgende Art abgeleitet werden kann.

Aus dem Unterschiede der dritten und zweiten Wägung erhält man genau das Gewicht des Wassers:

$$W = R - Q; \quad (\alpha)$$

welches an die Stelle der ausgeströmten Luft eingedrungen ist. Mit Berücksichtigung der Dichtigkeitstabelle des Wassers (Tafeln, S. 15) findet man hieraus durch einfache Multiplikation von W mit der der Temperatur des Wassers entsprechenden Zahl in der zweiten Spalte das Volum v der entwichenen trockenen Luft bei t° und unter b''' Druck.

Es wiegen (204) 1000 C. C. Luft bei t° und b''' Druck $\frac{1{,}2991 \,.\, 273 \,.\, b}{(273 + t)\, 336{,}9}$ grm. $= \frac{1{,}0527 \,.\, b}{(273 + t)}$ grm.; daher das Gewicht von v C. C. Luft bei t° und unter b''' Druck

$$l \text{ grm.} = \frac{1{,}0527 \,.\, b\, v}{1000 \,.\, (273 + t)}; \quad (\beta).$$

Das Gewicht der trocknen Luft (l), von der ersten Wägung (P) abgezogen, gibt das Gewicht des leeren Gefässes; und dieser Unterschied (P—l) wieder von der zweiten Wägung (Q) abgezogen, führt zu dem Gewichte des Dampfes:

$$D \text{ grm.} = Q - P + \frac{1{,}0527 \,.\, b \,.\, V}{1000\,(273 + t)}; \quad (\gamma).$$

Aus dem Unterschiede der vierten und dritten Wägung (S — R) findet man das Volum der im Gefässe zurückgebliebenen Luft, bei der Temperatur t'° des Wassers. Diese Luftmenge darf nur einen kleinen Bruchtheil des ganzen inneren Raumes ausmachen. Sie hatte sich bei der Erwärmung von t'° zu T° im Verhältnisse von $273 + t'$ zu $273 + T$ ausgedehnt, und um diese Ausdehnungsgrösse, nämlich um den Werth $\frac{(S - R)\,(T - t')}{273 + t'}$, ist das Volum des Dampfes kleiner als das der ausgetretenen trocknen Luft. Daher das Volum von D Gewichtstheilen des Dampfes bei T° und unter B''' Druck:

$$V = v - \frac{(S - R)\,(T - t')}{273 + t'}; \quad (\delta).$$

Beispiel: Eine experimentelle Untersuchung über die Dichtigkeit des Joddampfes führte zu folgenden Angaben:

Der lufterfüllte Glaskolben wog: P = 106,951 grm. bei 24° und 335,57‴.

Dasselbe Gefäss, bei 185° und 335,57‴ mit dem Dampfe gefüllt, wog: Q = 110,025 grm.

Dasselbe Gefäss, sammt dem darin befindlichen Jod, mit Wasser von 22° so weit gefüllt, als ein Ueberrest von Luft es gestattete, wog: R = 664,484 grm.

Endlich bei vollständiger Anfüllung mit Wasser wurde das Gewicht S = 664,550 grm. erhalten.

Hieraus findet man W = R — Q = 554,459 grm., und da 1 grm. Wasser bei 22° = 1,002022 C. C., so ergibt sich:

Das Volum der entwichnen trocknen Luft $v = 554{,}459 \times 1{,}002022 = 555{,}580$.

Das Gewicht dieser Luftmenge beträgt $l = \frac{1{,}0527.335{,}57.555{,}580}{1000\,(273+24)} = 0{,}661$ grm.

Folglich das Gewicht des Dampfes $D = Q - P + l = 3{,}735$ grm.

Die kleine Menge zurückgebliebener Luft hatte bei 22° einen Umfang von $S - R = 0{,}066$ C. C. und ihre Volumserweiterung durch Erwärmung auf 185° beträgt 0,036 C. C.

Daher Volum von 3,735 grm. des Dampfes bei 185° und unter 335,57‴ Druck:

$$V = 555{,}580 - 0{,}036 = 555{,}44 \text{ C. C.}$$

Es könnten bei diesen Rechnungen noch einige Berichtigungen in Anwendung kommen, insbesondere wegen des mit der Temperatur veränderlichen Rauminhaltes des Glasgefässes (59), so wie wegen der bei hohen Temperaturen fehlerhaft werdenden Anzeigen des Quecksilberthermometers (72). Mit Rücksicht hierauf würde man z. B. 557,66 für das Volum des Joddampfes erhalten, und die Temperatur von 185° würde sich in 182,°6 verwandeln. Die hierdurch erzielte grössere Genauigkeit des Resultates würde jedoch gewöhnlich nur eine scheinbare seyn, weil die bei der beschriebenen Versuchsmethode vorkommenden unvermeidlichen Beobachtungsfehler keineswegs zwischen engeren Gränzen eingeschlossen sind. — Ueberdiess wird nachher gezeigt werden, dass eine, wenn auch nur annähernde Genauigkeit für den Zweck des Chemikers fast immer ausreicht. Aus diesem Grunde kann auch die Berichtigung wegen der Ausdehnung der dem Dampfe beigemengten Luft, wenn das Volum derselben so wenig oder nicht viel mehr beträgt, wie in obigem Beispiele, gewöhnlich unterbleiben.

253. **Wenn das Verhältniss des Gewichtes zum Rauminhalte eines dampfförmigen Körpers nur für eine einzige Spannung und eine einzige Temperatur bekannt ist, so lässt sich dasselbe für jede beliebige andere Temperatur oder Spannkraft, wobei der Dampf die Gasform beibehalten kann, durch Rechnung finden.**

Es sey D das Gewicht, V das entsprechende Volum eines Dampfes für die Temperatur T° und den Druck von B‴, also $\frac{D}{V}$ das Gewicht von 1 C. C. Dampf, so erhält man (204) für irgend eine andere Temperatur t° und einen andern Druck e''', das Gewicht von 1000 C. C. Dampf: $d = \frac{1000\,(273+T)\,e}{(273+t)\,B} \cdot \frac{D}{V}$; oder das der Einheit des Gewichtes (z. B. 1 Grm.) unter denselben Bedingungen entsprechende Volum $v = \frac{(273+t)\,B}{(273+T)\,e} \cdot \frac{V}{D}$

Beispiel: Man erhält von 1 Grm. Wasser, bei 100° und unter 336,9‴‴ Pressung 1700 C. C. Dampf. Es wiegen hiernach 1000 C. C. Wasserdampf, unter 2 Atmosphärendruck und bei 120,69° des hunderttheiligen Thermometers: $\frac{1000\,(273+100).2}{(273+120{,}69).1} \cdot \frac{1}{1700} = 1{,}1146$ grm.

Ebenso findet man mittelst der zweiten Formel, dass 1 Grm. Wasser bei 120,69° und unter 2 Atmosphärendruck 897 C. C. Dampf bildet. Im Allgemeinen ist der Umfang von 1 Grm. Wasserdampf $v = \frac{4{,}55764\,(273+t)}{e}$, wo e den Druck in Atmosphären vorstellt.

Diese Rechnung setzt voraus, dass die Gesetze der Ausdehnung und Zusammenziehung durch Wärme und Druck für Gase und Dämpfe ganz gleiche Geltung haben; eine Annahme, die zwar annähernd richtig, in aller Strenge jedoch bis jetzt nicht bewiesen und bei den Dämpfen, wenigstens in der Nähe ihrer

Sättigungspuncte nicht einmal wahrscheinlich ist. Die auf die angegebene Weise berechneten Gewichte der Dämpfe können daher nur als Annäherungen zur Wahrheit betrachtet werden.

254. Um die Dichtigkeit der Dämpfe unter einander und mit derjenigen der Gase bequemer vergleichen zu können, pflegt man sie, wie die der letzteren, auf den Barometerstand von 336,9‴ und auf den Schmelzpunct des Eises zu beziehen, ohne darauf Rücksicht zu nehmen, ob ein Dampf unter diesen Umständen wirklich bestehen könne (Tafeln, S. 17). Denn die so gefundenen Zahlenwerthe bezeichnen zugleich für jede andere Pressung und Temperatur, und folglich auch für solche, wobei ein Dampf wirklich bestehen kann, das Verhältniss seiner Dichtigkeit zu derjenigen der Luft, in so fern nur beide gleichzeitig, unter demselben Drucke und derselben Temperatur sich befindend, vorausgesetzt werden (204).

So findet man z. B. das Gewicht von 1000 C. C. Joddampf bei 0° und 336,9‴. (zu vergleichen das Beispiel in Nr. 252) $\frac{1000 \cdot 458 \cdot 335{,}57}{273 \cdot 336{,}9} \cdot \frac{3{,}735}{555{,}44} = 11{,}237$ grm.

Das spec. Gewicht des Joddampfes, bezogen auf die Luft, beträgt hiernach $\frac{11{,}237}{1{,}2991} = 8{,}716$, was für eine Temperatur und was für ein Druck es nun auch seyn mag, welchen dieser Dampf und die Luft gleichzeitig unterworfen sind.

255. Die Richtigkeit der specifischen Gewichts-Bestimmung eines Dampfes kann auf dieselbe Weise wie die Richtigkeit der Gaswägungen durch Rechnung geprüft werden; und diese Controle gründet sich ganz auf dieselben, bereits in Nr. 205 erörterten Erfahrungsgesetze. Man gewinnt hierdurch ein Mittel, die bei der direkten Bestimmung specifischer Gewichte nicht zu vermeidenden Beobachtungsfehler mit einer Sicherheit zu berichtigen, welche eben so gross ist, als der bei chemischen Untersuchungen gegenwärtig erreichbare Grad der Genauigkeit.

Wie man hierbei zu verfahren habe, wird sich am deutlichsten aus einigen Beispielen ergeben. Das specifische Gewicht des Joddampfes wurde = 8,716 gefunden. Nun gibt das Aequivalent des Jods (1579,50), auf die Luft als Einheit bezogen, d. h. mit 1,1026 (dem spec. Gew. des Sauerstoffs) multiplicirt und durch 100 dividirt, die Zahl $\frac{1579{,}50 \cdot 1{,}1026}{100} = 17{,}402 = 2 \cdot 8{,}701$. Die Zahl 8,701 bezeichnet folglich das berichtigte spec. Gewicht des Joddampfes.

Das Aequivalent des Schwefels (201,17) mit 1,1026 multiplicirt und durch 100 dividirt, verwandelt sich in die Zahl 2,218. Die direkte Wägung des Schwefeldampfes lässt das spec. Gewicht desselben ungewiss zwischen 6,51 — 6,9. Sein wahres spec. Gewicht muss daher $2{,}218 \cdot 3 = 6{,}654$ betragen.

Das beobachtete spec. Gewicht des Wasserdampfes ist 0,6235. Das Wasser enthält 1 Vol. Sauerstoffgas = 1,1026, verbunden mit 2 Vol. Wasserstoffgas $= 2 \times 0{,}0688 \ldots = 0{,}1376$ zu

1,2402 Gewichtstheilen Wasser, welche 2 Vol. Dampf entsprechen; denn $\frac{1{,}2402}{0{,}6235}$ gibt beinahe die Zahl 2; $\frac{1{,}2402}{2} = 0{,}6201$ ist folglich das genaue spec. Gewicht dieses Dampfes.

Der Schwefeläther ist eine Zusammensetzung von 4 Aequivalenten Kohlen-

stoff, 5 Aequivalenten Wasserstoff und 1 Sauerstoff, welche zusammen 465,818 Gewichtstheile bilden. Diese Zahl mit 1,1026 multiplicirt und durch 100 dividirt, gibt 5,136 als Atomgewicht des Aethers, bezogen auf die Luft als Einheit. Das beobachtete spec. Gewicht des Aetherdampfs, 2,586, ist ungefähr 2 mal in dieser Zahl enthalten, woraus man sieht, dass die Bestandtheile von je 5,136 Theilen Aether, welche 1 Vol. Sauerstoff enthalten, sich zu 2 Vol. Aetherdampf verdichtet haben.

Der Wasserdampf als Betriebskraft.

256. Auf der bedeutenden Umfangsvergrösserung des Wassers beim Uebergange in den dampfförmigen Zustand, so wie auf der Eigenschaft gesättigter Dämpfe, durch Abkühlung sogleich in den tropfbar flüssigen Zustand zurückzutreten, beruht die Anwendung des gespannten Wasserdampfs als bewegende Kraft.

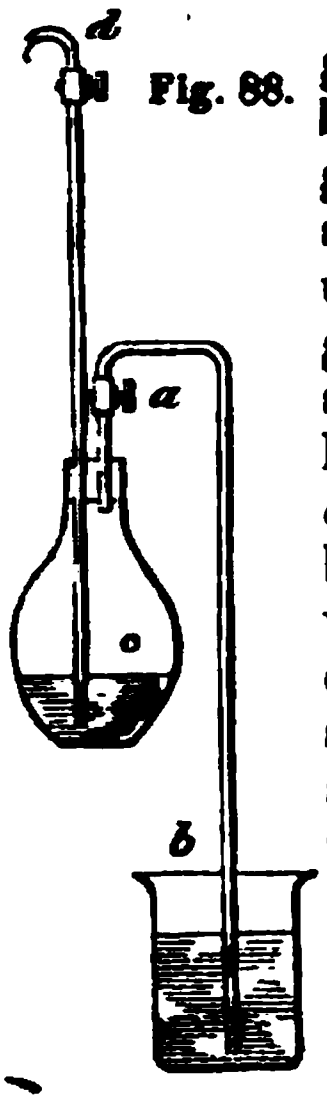


Fig. 88.

In ein Glasgefäss (Fig. 88), das mit Wasser ganz angefüllt ist, sind mittelst eines doppelt durchbohrten Korks zwei Glasröhren eingelassen. Die eine geht vom Boden des Gefässes bis zu beliebiger Höhe senkrecht aufwärts. Die andere mündet unmittelbar unter dem Stöpsel in das Gefäss ein, ist oberhalb umgebogen und leitet senkrecht abwärts zu einem Wasserbehälter. Beide Röhren sind verschliessbar. Das Rohr *a b* sey bei *a* durch einen Hahn geschlossen, *c d* offen; man erhitze das Wasser, so werden sich bei irgend einem Temperaturgrade Dämpfe erzeugen, welche vermöge ihrer Spannkraft auf die Flüssigkeit drücken und dieselbe nöthigen, im Rohr *c d* aufzusteigen und oben auszufliessen. Gesetzt, dieses Rohr sey 250 Centimeter oder ungefähr 8 Fuss hoch (1000 Centim. ist beiläufig die Höhe einer Wassersäule, die dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht hält), so muss sich, um das Wasser zum Ausfluss zu bringen, ein Dampf von $1\frac{1}{4}$ Atmosphärendruck bei $106^0,36$ Temperatur bilden. Dampf von dieser Beschaffenheit besitzt einen 1383mal so grossen Umfang, als ein gleiches Gewicht Wasser. Betrüge der Inhalt des Gefässes 1383 C. C., so würde 1 Grm. Wasser, durch Umwandlung in Dampf, gerade hinreichen, um den Rest der im Gefässe enthaltenen Flüssigkeit auf 250 Centim. Höhe zu treiben. Man schliesse nun das Rohr *c d* mittelst des Hahns *d*, öffne den Hahn *a*, und lasse das Gefäss, etwa durch Benetzen mit kaltem Wasser, sich abkühlen. Hierdurch entsteht im Innern ein beinahe leerer Raum; daher steigt das Wasser aus dem untern Behälter im Rohr *a b*, und wird, wenn die Höhe des letzteren nur etwas weniger als 1000 Centim. beträgt, in das Glasgefäss eindringen und dasselbe wieder anfüllen. Durch 1 Grm. Wasser, das sich in Dampf von 1,25 Atmosphärendruck verwandelte, sind also 1382 Grm. Wasser im Ganzen auf 1250 Centim.

Höhe geschafft worden, oder es ist ein Bewegungseffect (120) von 1,382 Kil. 12,50 Meter hoch erzielt worden.

Ein Kolben, der in einem Cylinder, ähnlich wie der Kolben im Stiefel der Luftpumpe, dicht anschliesst, aber leicht beweglich ist, kann durch die Kraft des gespannten Dampfes, je nachdem der letztere wider die eine oder andere Kolbenfläche drückt, vor und rückwärts geschoben werden, indem sich der Raum hinter der bewegten Fläche mit Dampf anfüllt. Angenommen, die Spannkraft sey wieder durch $1\frac{1}{4}$ Atmosphärendruck gemessen, so muss der fortschreitende Kolben, während er einem Gegendrucke von $1\frac{1}{4}$ Atmosphären, d. h. einem Gewichte von $1{,}25 \times 1{,}0337$ Kil., oder in runder Summe von 1,250 Kil. (196), auf den Q. Centim. Fläche das Gleichgewicht halten kann, für jedes Gramme Dampf, welches in das Innere des Cylinders gelangt, einen Raum von 1383 C. C. beschreiben. Der Bewegungseffect von 1 Grm. Dampf beträgt hiernach 1,250 Kilogr. 1383 Centimeter hoch, was genau dasselbe ist, wie 1,383 Kilogr. 12,50 Meter hoch.

Wir besitzen also im Wasserdampfe eine Betriebskraft, deren Effect im Allgemeinen berechnet werden kann, indem man den seiner Spannkraft entsprechenden Druck auf die Flächeneinheit, diesen Druck durch Gewichte gemessen, mit dem, in demselben Maassverhältnisse ausgedrückten, Rauminhalte eines gegebenen Gewichtes Dampf multiplicirt.

Dieser einfache Satz bildet die physikalische Grundlage der Theorie der Dampfmaschine. Näheres über diese Maschine suche man in den Werken über Mechanik und Maschinenlehre.

Gebundene Wärme der Dämpfe.

257. Es ist schon früher (85) erwähnt worden, dass die Flüssigkeiten beim Uebergange in den Dampfzustand Wärme binden und dass die Beständigkeit der Siedpuncte in diesem Umstande eine genügende Erklärung findet. Diese zur Verflüchtigung erforderliche Wärme eines Dampfes wird beim Rücktritte desselben in den tropfbar flüssigen Zustand wieder frei, d. h. sie nimmt die Eigenschaft wieder an, sich auf andere Körper übertragen zu lassen. Hierdurch bietet sich ein im Principe sehr einfaches Mittel dar, dieselbe nachzuweisen und ihre Menge zu bestimmen. Leitet man z. B. den Dampf von siedendem Wasser in kaltes Wasser, so wird dieses nach und nach ebenfalls bis zum Sieden erhitzt, was unmöglich wäre, wenn die eingeleiteten Dämpfe nicht mehr Wärme enthielten, als ein von denselben umgebenes Thermometer anzeigt (75). In der That weiss man aus Versuchen von Despretz, womit noch neuere von Brix übereinstimmen, dass die Gewichtseinheit eines gesättigten Wasserdampfes von 100° Temperatur 640 Wärme-Einheiten, d. h. 540 mehr enthält, als das Thermometer darin angibt. Durch diese Wärmemenge würde also die Temperatur des

Wassers, unter Umständen, wobei es seine tropfbar flüssige Gestalt beibehalten müsste, von 0° bis zu 640° erhoben werden können.

Die Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten enthalten nicht dieselbe Menge gebundener Wärme. Während z. B. die Gewichtseinheit siedenden Wassers, um sich in Dampf zu verwandeln, 540 Wärme-Einheiten verschlucken muss, bedarf ein gleiches Gewicht des bei 78,°4 siedenden Alkohols nur 211 Wärmeeinheiten; der Schwefeläther, welcher bei 35,°7 siedet, 90 Wärme-Einheiten; das bei 156° siedende Terpenthinöl 77,8 Wärme-Einheiten; das Citronenöl, dessen Siedpunct bei 176° liegt, 80 Wärme-Einheiten. — Dividirt man diese Zahlen durch die specifischen Wärmen der betreffenden Flüssigkeiten, so findet man die gebundene Wärme derselben, bei einer jeden auf ihre eigene Wärmecapacität bezogen. Z. B. die specifische Wärme des Aethers ist 0,55; die des Terpenthinöls 0,426; die Quotienten $\frac{90}{0,55} = 163,6$ und $\frac{77,8}{0,426} = 182,6$ sagen daher: dass der Aether durch die gebundene Wärme seines Dampfes, als freie Wärme gedacht, auf 163,°6 über seinen Siedpunct, im Ganzen also auf (35,°7 + 163,°6) und ebenso das Terpenthinöl auf 182,°6 über seinen Siedpunct würde erhitzt werden können.

Die genaue Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe, insbesondere derjenigen des Wasserdampfes ist, seitdem Black die Eigenschaft des Wassers, bei der Verdampfung Wärme zu verschlucken, zuerst nachgewiesen hat, von vielen Physikern mit ungleichem Erfolge versucht worden. Die angewendeten Untersuchungs-Methoden kommen alle darauf hinaus, dass die Dämpfe durch mittel- oder unmittelbare Berührung mit einer bekannten Gewichtsmenge kalten Wassers von bekannter Temperatur verdichtet wurden. Aus der beobachteten Temperaturerhöhung und dem Gewichte des verdichteten Dampfes konnte dann die gebundene Wärme desselben berechnet werden. Die neueste und zugleich die zuverlässigste Arbeit über diesen Gegenstand verdankt man Brix (Pogg. Ann. B. 55, S. 341). Der von ihm gebrauchte Apparat (a. a. O., S. 360 ausführlich beschrieben) ist eine Abänderung des Rumford'schen Calorimeters (79).

Auf der grossen Menge latenter Wärme, welche der Wasserdampf enthält, beruht seine Anwendung als Heitzmittel. Jedes Pfund Dampf hat nämlich hinsichtlich seines Wärme-Inhalts ganz gleichen Werth mit 6,4 Pfund siedend heissen Wassers, und da sich der Dampf durch Röhren, die jedoch, um die Abkühlung zu vermindern, mit schlechten Leitern der Wärme umhüllt seyn müssen, sehr leicht und mit vollkommener Sicherheit vor Feuersgefahr nach jedem beliebigen Orte, und selbst auf nicht unbedeutende Entfernungen hin fortleiten lässt, so bietet die Methode der Dampfheitzung in vielen Fällen grosse Bequemlichkeit und wirkliche Vortheile. — Der auf diesem Wege zu erwartende Wärme-Effekt muss jedoch, selbst im günstigsten Falle, hinter demjenigen zurückbleiben, welcher durch unmittelbare Benutzung der von irgend einem Brennmateriale erzielten Wärme, und bei übrigens gleich zweckmässiger Anordnung erreicht werden kann.

258. Wenn gesättigte Dämpfe, gleichgültig von welcher Spannkraft, aus engen Oeffnungen ihrer Erzeugungsgefässe in Räume ausströmen, worin sie einem geringeren Drucke unterworfen sind und worin folglich ihr Umfang sich erweitern muss, so vermindert sich mit ihrer Spannkraft zugleich auch ihre Temperatur. In Folge

der Umfangs-Vergrösserung ist also ein Theil ihrer freien Wärme gebunden worden.

Man lasse Wasserdampf, der in einem kupfernen Siedekessel und in Berührung mit noch tropfbarem Wasser beliebig gespannt ist, durch eine enge Oeffnung in die freie Luft ausströmen und dadurch, bei vergrössertem Volume, seine Spannkraft sich mit derjenigen der Atmosphäre ins Gleichgewicht setzen, so wird man finden, dass seine Temperatur in geringem Abstande von der Oeffnung weit unter 100° gesunken ist. Diese bedeutende Abkühlung wird aber zum Theile dadurch bewirkt, weil der ausströmende Dampf sich sogleich mit der umgebenden kälteren Luft vermengt. Verhindert man diese Mengung, indem man den Dampf nöthigt, durch ein vor der Kesselöffnung luftdicht angekittetes Glasrohr zu strömen, das übrigens sehr viel weiter seyn kann als die Oeffnung, und nur als Hülle dient, um die Berührung mit der Luft abzuhalten, so behauptet der Dampf innerhalb des Rohrs stets die dem Atmosphärendrucke entsprechende Siedetemperatur, was immer seine Temperatur innerhalb des Kessels gewesen seyn mag. — Durch ähnliche, in grossem Maassstabe angestellte Versuche hat Pambour (zu vergleichen sein Werk: „Neue Theorie der Dampfmaschine") bewiesen, dass Dämpfe im Maximum ihrer Spannkraft, welche sich unter Umständen ausdehnen, wobei ihnen Wärme von Aussen weder zufliesst noch entzogen wird, stets eine solche Menge ihrer eignen freien Wärme binden, dass die hierdurch verminderte Temperatur bei der gleichzeitig verminderten Spannkraft wieder einem Maximum der Dichtigkeit oder Spannkraft entspricht.

Werden gesättigte Dämpfe durch äusseren Druck verdichtet, so müsste folglich auch umgekehrt die hierdurch wieder frei werdende Wärme, in so fern dieselbe durch Abkühlung von Aussen nicht abgeleitet würde, gerade hinreichend seyn, um die Temperatur des Dampfes so weit zu erhöhen, als erforderlich ist, um ihn bei vergrösserter Spannkraft und vermindertem Volume fortwährend im gesättigten Zustande zu erhalten.

Der gesammte Wärme-Inhalt eines gesättigten Dampfes, bei welcher Temperatur und zugehöriger Spannkraft man ihn auch betrachten mag, ist also eine unveränderliche Grösse. Die Menge der gebundenen Wärme dagegen ist veränderlich; sie vermindert sich in dem Grade, als die freie Wärme, d. h. die Temperatur des Dampfes, zunimmt.

Z. B. Unter dem mittleren Atmosphärendruck gesättigter Wasserdampf enthält 100° an freier und 540° an gebundener Wärme. Bis zu zwei Atmosphärendruck comprimirt, werden noch weitere 20°,7 frei und bleiben also nur 519°,3 an gebundener Wärme. Unter 10 Atmosphärendruck würde, ohne den Einfluss äusserer Abkühlung, die Temperatur desselben Dampfes bis zu 181°,3 steigen müssen und folglich nur 458°,7 gebunden bleiben. Denkt man sich eine Quantität

Wasserdampf bis zu demselben Umfange zusammengedrückt, den er als tropfbare Flüssigkeit einnahm, so müsste seine Temperatur auf 640° steigen und die so weit verdichtete ausdehnsame Flüssigkeit würde gar keine Verflüchtigungswärme enthalten.

Die Ansicht, dass die Summe der freien und gebundenen Wärme des gesättigten Wasserdampfes bei allen Pressungen dieselbe bleibe, ist als Erfahrungsgesetz zuerst von Watt ausgesprochen worden. Später behauptete Southern: nicht der gesammte Wärme-Inhalt, sondern die gebundene Wärme des Dampfes sey unveränderlich; wenn z. B. einfach gespannter Dampf 100° freie und 540° gebundene Wärme enthalte, so müsse doppelt gespannter Dampf bei 120°,7 freier Wärme ebenfalls 540° gebundene Wärme einschliessen u. s. f. Pambour's Beobachtungen setzen die Unrichtigkeit dieser Vorstellung ausser Zweifel, indem sie zeigen, dass die Wahrheit von dem von Watt aufgestellten Erfahrungsgesetze jedenfalls um keinen mittelst des Thermometers und Manometers messbaren Werth abweicht. Hiermit stimmen überdiess auch noch andere, im folgenden Paragraphen angeführte Thatsachen überein.

259. Ungeachtet sich das Wasser in verschlossenen Gefässen weit über seinen gewöhnlichen Siedpunct erhitzen lässt, so können doch (aus Gründen, die vorher dargelegt worden sind) die ausströmenden Dämpfe, sobald sie keinem grösseren Drucke mehr ausgesetzt sind, als dem der Atmosphäre, auch keine höhere Temperatur mehr beibehalten, als die eines unter dem bestehenden Atmosphärendrucke gesättigten Dampfes.

Es gibt noch andere Ursachen, wodurch das Sieden des Wassers, sogar in ganz offenen Gefässen, aufgehalten werden kann. Solche Ursachen sind: der Druck des in einem Siedegefässe enthaltenen Wassers auf die erhitzte Bodenfläche; die Adhäsion der Gefässwände, nämlich die Kraft, womit die festen Theile der Wände dem Bestreben der verdampfenden Wassertheile, sich abzulösen, entgegenwirken, und insbesondere noch die der Dampfbildung entgegengesetzte Anziehung der flüssigen Theile selbst, so wie von Salzen und andern Stoffen, welche im Wasser aufgelöst sind.

Von welcher Beschaffenheit aber auch ein Siedegefäss seyn, wie hoch man es mit Wasser angefüllt haben, was für Stoffe dieses letztere in Auflösung enthalten und bis zu welcher Höhe dadurch seine Siedetemperatur sich steigern mag, — die aus der siedenden Flüssigkeit sich erhebenden Dämpfe werden stets diejenige Temperatur besitzen, welche unter dem bestehenden äusseren Drucke einem Dichtigkeits-Maximum entspricht.

Das Gewicht des Wassers über der Bodenfläche eines Siedegefässes wirkt wie eine Vergrösserung des Atmosphärendrucks. Entspricht letzterer, für sich betrachtet, z. B. dem Gewichte einer Wassersäule von 32 Fuss und der Wasserstand im Dampfkessel beträgt 2 Fuss, so müssen die Dampfblasen im Augenblicke, da sie sich von der Bodenfläche erheben, die erforderliche Temperaturhöhe und Spannkraft besitzen, um einem Drucke von 34 Fuss Wasser das Gleichgewicht halten zu können.

Das Wasser müsste, so sollte man erwarten, bei genügender Verminderung des äusseren Luftdrucks, z. B. unter der Luftpumpe, schon bei der gewöhnlichen Temperatur, ja selbst bei 0°, zum Sieden gebracht werden können. Das Sieden (d. h. die Entbindung von Dampfblasen an den Wänden der Gefässe) bei so

niederen Temperaturen wird aber, wenigstens dann, wenn das Wasser von Luft ganz befreit ist, durch die Adhäsion der Gefässwände und die Cohäsion der flüssigen Theile unter einander verhindert. Bei hohen Temperaturen ist dieser Einfluss weniger auffallend. Indessen findet man, dass die Temperatur des siedenden Wassers in Gefässen von Porzellan oder Glas am Boden 1° bis 1°,5 höher ist, als an der Oberfläche. Metallgefässe zeigen diesen Unterschied nicht.

Bei manchen Flüssigkeiten, zumal wenn sie in Glasgefässen erhitzt werden, bemerkt man ein sehr unregelmässiges Sieden. Die Dampfblasen bilden sich nur einzeln und stossweise und sind oft so gross, dass sie beim Aufsteigen die Flüssigkeit und zuweilen das Gefäss selbst heben. Man nennt diese Erscheinung Aufstossen. Sie ist die Folge eines gewaltsamen Abreissens des Dampfes vom Boden, nachdem seine Spannkraft, bei allmählig erhöhter Temperatur, endlich so gross geworden ist, dass er den durch die Adhäsion vermehrten äusseren Druck zu überwinden vermag. Die Temperatur einer mit Aufstossen siedenden Flüssigkeit befindet sich in einem fortwährenden Schwanken. Sie kommt auf ihren niedrigsten Werth, unmittelbar nachdem eine grosse Dampfblase sich erhoben hat, und steigt dann allmählig bis zur Entwicklung einer neuen Dampfblase. Manche Flüssigkeiten, z. B. concentrirte Schwefelsäure, lassen sich wegen des Aufstossens nur schwierig destilliren. Man kann aber diesen Uebelstand durch Einbringen kleiner Stücke Metall vermindern und oft ganz beseitigen. Gewöhnlich werden Abfälle von Platin dazu verwendet. Leicht oxydirbare Metalle, wie Zink und Eisen, auch poröse Kohle, zeigen sich aber noch wirksamer.

Wenn gleich die Adhäsion der Gefässwände das Sieden bald mehr bald weniger erschwert, so trägt sie doch wieder andererseits wesentlich bei, um den Uebergang der Wärme aus der Gefässmasse in die Flüssigkeit zu vermitteln. Flüssigkeiten, welche die Wände eines Gefässes nicht benetzen und also mit denselben in einer verhältnissmässig weit weniger innigen Berührung stehen, bedürfen aus diesem Grunde mehr Zeit, um die Wärme der Gefässmasse in sich aufzunehmen. Glühende Metallplatten werden vom Wasser und auch von manchen andern Flüssigkeiten nicht benetzt. Bringt man Wasser in ein glühendes Metallgefäss, z. B. in eine glühende Platin- oder besser Silberschale, allmählig und mit der Vorsicht, dass die Temperatur der Gefässmasse nicht unter die Glühehitze sinken kann, so behauptet die Flüssigkeit eine convexe Oberfläche, wie Quecksilber in Glasgefässen, und verdampft, ungeachtet der Nähe des glühenden Metalls, auffallend langsam. Ist die Schale geräumig genug, um nach und nach so viel Wasser eintragen zu können, als nöthig ist, um die Temperatur desselben zu prüfen, so findet man, dass der Stand des Thermometers gewöhnlich mehrere Grade unter dem Siedpuncte bleibt. Dieses Verhalten ist zuerst von Leidenfrost beobachtet worden; daher der Name: Leidenfrost'sches Phänomen.

Der Widerstand, den verdampfende Flüssigkeiten am Boden der Gefässe erfahren, hat keinen bedeutenden Einfluss auf die Temperatur an der Oberfläche. Regenwasser, destillirtes und überhaupt reines Wasser, zum Sieden erhitzt, zeigt daher an seiner Oberfläche einen, je nach der Beschaffenheit des Siedegefässes zwar nicht immer genau gleichen, aber doch nie bedeutend höheren Wärmegrad, als der bestehende Atmosphärendruck verlangt. Selbst Unreinigkeiten, die nur in der Flüssigkeit schweben, verändern ihren Siedpunct nicht bemerkbar. Aber durch aufgelöste Stoffe wird das Sieden fast immer beträchtlich verzögert, mehr oder weniger, je nach ihrer Menge, Beschaffenheit und Verwandtschaft zum Wasser. Der Siedpunct des Wassers steigt mit der Menge eines darin aufgelösten Salzes, jedoch nicht im Verhältniss dieser Menge. (Legrand in Pogg. Ann. B. 37, S. 379.) Als Beleg für den ungleichen Einfluss verschiedener Salze dient die folgende Tabelle:

Beim Siedepuncte gesättigte Lösung.	Siedpunct.	Salzgehalt in 100 Theilen Wasser.
Schwefelsaures Natron	100,6	31,5
Schwefelsaures Kali	101,7	17,5
Alaun	104,0	52,0
Kohlensaures Natron	104,6	48,5
Phosphorsaures Natron	106,5	113,2
Chlorkalium	108,3	59,4
Chlornatrium	108,4	41,2
Salmiak	114,2	88,9
Salpetersaures Kali	115,9	335,1
Salpetersaures Natron	121,0	224,8
Kohlensaures Kali	135,0	205,0
Salpetersaurer Kalk	151,0	362,2
Chlorcalcium	179,5	325,0
Salpetersaures Ammoniak	180,0	unendlich.

Die Genauigkeit der Anzeigen des Quecksilberthermometers beruht zum Theile auf der richtigen Bestimmung seines Siedpunctes. Aus dem Vorhergehenden ersieht man, dass nur die aus siedendem Wasser aufsteigenden Dämpfe eine mit voller Sicherheit vergleichbare und dem Barometerstande entsprechende Temperatur besitzen. Um die Lage des Siedpunctes eines Thermometers zu bestimmen, ist es daher rathsam, dasselbe nicht in die siedende Flüssigkeit einzusenken, sondern nur der Einwirkung der Dämpfe auszusetzen. Das Instrument wird zu dem Ende in einen Glaskolben mit langem Halse, worin man Wasser in lebhaftem Kochen unterhält, so weit eingesenkt, dass es, ohne die Oberfläche der Flüssigkeit zu berühren, doch seiner ganzen Länge nach bis in die Gegend des Siedpunctes von den heissen Dämpfen umspült werden muss. Um eine Abkühlung durch äussere Einflüsse ganz sicher zu vermeiden, befestigt man überdiess die Thermometerröhre etwas unter der Stelle des Siedpunctes mittelst Kork in einen offenen Glascylinder, der bis unter den Quecksilberbehälter hinabreicht und seinerseits wieder durch einen Kork geht, welcher auf dem Halse des Siedekolbens sitzt. (Ausführlicheres über die Feststellung des Siedpunctes findet man in Pogg. Ann. B. 40, S. 48. Ebendaselbst, S. 567, findet man eine sehr zweckmässige, von Rudberg angewendete Calibrirungsmethode des Thermometers.) Der durch Beobachtung bestimmte Siedpunct ist übrigens nur dann richtig, wenn das Barometer, auf 0° reducirt, zufällig auf 336,9 Linien stand. Für jeden andern Stand desselben wird eine Berichtigung erforderlich. Angenommen, man fand nur 335‴, so ist die entsprechende Siedetemperatur 99°,85 (Taf. XIV), und aus der Proportion $99{,}85 : l = 100 : x$ ergibt sich dann der wahre Abstand des Frost- und Siedpunctes $x = \frac{100\,l}{99{,}75}$; l bedeutet die mittelst eines Maassstabes gemessene Entfernung des Frostpunctes und beobachteten Siedpunctes.

Die Bestimmung des andern festen Punctes der Thermometerscale ist weit weniger umständlich, und erfordert nur, dass das Thermometer bis in die Gegend des Gefrierpunctes mit einem Gemenge von Schnee und reinem Wasser umgeben werde, welches sicher die Temperatur von 0° besitzt.

260. Wenn aus einer Flüssigkeit zugleich mit ihrem Dampfe sich ein anderer gasförmiger Körper von grösserer Beständigkeit entbindet, so sinkt die Temperatur der Dämpfe stets unter den dem Barometerstande entsprechenden Siedpunct. Der Grund ist, weil ihre Spannkraft um diejenige des beigemengten beständigeren Gases weniger betragen muss, als der äussere Druck (249).

Die Verdampfung unter Mitwirkung einer Gasentwicklung ist ein unter möglichst günstigen Verhältnissen eingeleiteter Verdunstungsprocess, indem durch den Gasstrom nicht nur die verdunstende Fläche vergrössert, sondern auch ein regelmässig fortdauernder Wechsel der den Dampf aufnehmenden Räume bedingt wird. Es sey V das Volum des unter dem Drucke b, während einer gewissen Zeit, in der Flüssigkeit sich entbindenden trocknen Gases, p die Spannkraft des aufgenommenen Dampfes; so kann diejenige des austretenden (mit dem Dampfe gemengten) Gases, für sich betrachtet, nur $b - p$ betragen. Der Raum V hat sich daher während der Dampfaufnahme und indem er immer dem äusseren Drucke b das Gleichgewicht hält, in $\frac{V \cdot b}{b - p}$ erweitert. Dieser ganze Raum ist mit Dampf von der Pressung p angefüllt. Je näher die Temperatur einer Flüssigkeit ihrem wahren Siedpuncte liegt, je weniger also die Spannkraft (p) ihres Dampfes von dem äusseren Drucke (b) verschieden ist, einer um so geringeren Gasmenge bedarf es, um ein gewisses Dampfvolum aus der Flüssigkeit gerade so fortzuführen, als befände sie sich im lebhaftesten Sieden.

Z. B. Wasser von 99° Temperatur bildet einen Dampf von 27″ Spannung. Jeder K. Z. Luft von derselben Temperatur und unter 28″ Druck, mit dieser Flüssigkeit in Berührung gebracht, wird sich bis zu 28 K. Z. ausdehnen und ein eben so grosses Volum Dampf von 99° und 27″ Spannung mit sich führen.

Hieraus erklärt sich das plötzliche, heftige Aufwallen siedender oder fast bis zum Siedpuncte erhitzter Flüssigkeiten, wenn man poröse Stoffe, wie Kohle, Holz u. s. w., die sich vorher mit Luft oder einem andern Gase vollgesaugt hatten, hineinwirft.

Die rasche Entbindung der Gase, namentlich der Kohlensäure, aus ihren Auflösungen, durch Einbringen poröser oder solcher Stoffe, durch deren Einwirkung auf die Flüssigkeit sich ein anderes, weniger lösliches Gas erzeugt, erklärt sich aus derselben Ursache.

Der durch einen Gasstrom beschleunigte Verdunstungsprocess gestattet in manchen Fällen eine vortheilhafte Anwendung, um Flüssigkeiten ohne Beihülfe eines luftverdünnten Raumes bei Temperaturen unter ihrem gewöhnlichen Siedpuncte abzudampfen oder zu destilliren. Destillation des Terpenthinöls und anderer flüchtiger Oele mittelst Wasserdämpfen, in welchen die flüchtige Substanz gerade so wie in einem andern Gase verdunstet.

Die Eigenschaft der Flüssigkeiten, im Raume gasförmiger oder dampfförmiger Stoffe zu verdunsten, macht es schwierig, solche Flüssigkeiten, deren Siedpuncte nicht sehr weit von einander entfernt liegen, durch Destillation zu scheiden. So ist es z. B. unmöglich, den Alkohol selbst durch wiederholte Destillation vom beigemischten Wasser zu trennen. Die Scheidung des absoluten Alkohols gelingt aber durch Abziehen des auf die gewöhnliche Weise so weit wie möglich concentrirten Weingeistes über Chlorcalcium, weil dieses zu dem Alkohol nur geringe Verwandtschaft besitzt, dagegen im Wasser sich auflöst und seinen Siedpunct bis nahe 180° erhebt, wodurch bei derjenigen Temperatur, bei welcher der absolute Alkohol abdestillirt (78°,4), keine Wasserdämpfe von bemerkbarer Spannung entstehen können.

261. Verdampfende Flüssigkeiten können nur dann eine feste Temperatur annehmen, wenn die von dem Dampfe gebundene Wärme durch Zufluss von Aussen stets wieder ersetzt wird. Ist

der Zufluss grösser als der Verlust, so steigt die Temperatur bis zur Gränze des Siedpunctes unter dem herrschenden Drucke. Geht mehr Wärme mit dem Dampfe fort, als von Aussen zufliessen kann, so sinkt die Temperatur. Letzteres ist der Fall bei allen der freiwilligen Verdampfung überlassenen Flüssigkeiten. Aber auch diese Abkühlung kann eine gewisse Gränze nicht überschreiten. Denn so wie ein Körper kälter wird als seine Umgebung, beginnt der Zufluss der Wärme von Aussen und vermehrt sich bei fortdauerndem Sinken der Temperatur; dagegen die Expansivkraft des Dampfes, folglich die Ursache der Dampfbildung und fortschreitenden Abkühlung nimmt ab; es muss daher endlich ein Zeitpunct eintreten, wo die durch fortdauernde Dampferzeugung verschluckte Wärme der gleichzeitig von Aussen zuströmenden gleich ist, also der Grund einer weiteren Temperaturerniedrigung wegfällt.

Befeuchtet man die mit Linnen oder mit Schwamm umgebene Kugel eines Thermometers mit Wasser, so sinkt die Quecksilbersäule sogleich um mehrere Grade. Sie kann um 8—10° heruntergehen, wenn man das befeuchtete Thermometer an einem Faden rasch herumschwingt. Mittelst Aether oder Schwefelkohlenstoff kann man auf diese Weise die Temperatur um 15—20° erniedrigen. Bringt man einige Tropfen Wasser in ein Uhrglas, giesst Aether darauf, und lässt mittelst eines Löthrohrs mit weiter Oeffnung rasch einen Luftstrom darüber hingehen, so erstarrt das Wasser. — Die wirksamsten, bis jetzt bekannten Erkältungsmittel durch Verdunstung sind: schweflige Säure und Kohlensäure im tropfbar flüssigen Zustande. Die erstere, bei — 20° einem Luftstrome ausgesetzt, erkaltet durch theilweise Verdunstung bis unter — 60°; die letztere erniedrigt ihre Temperatur von 0° bis zu — 100°, indem der nicht verdunstete Theil zu fester Kohlensäure erstarrt; dabei vermindert sich ihr Expansivvermögen in dem Grade, dass die feste Kohlensäure bei langsamer Verdunstung kaum bemerklich verschwindet. (Pogg. Ann. B. 36, S. 146.)

Bei weniger flüchtigen Stoffen verhindert die Luft eine sehr bedeutende Abkühlung, theils durch direkte Wärmemittheilung, theils indem sie die Verdunstung aufhält. Wasser, Aether, Schwefelalkohol u. s. w. erkalten daher am meisten, wenn sie im leeren Raume verdampfen. Man bringe ein Uhrglas mit Wasser gefüllt über ein weites, concentrirte Schwefelsäure enthaltendes Gefäss, unter die Glocke einer guten Luftpumpe, und pumpe so gut wie möglich aus; das Wasser wird nach einiger Zeit erstarren. Wenn das Uhrglas der Säure nicht zu nahe ist und nur an wenigen Puncten aufliegt, die Säure ganz concentrirt und die Maschine fähig ist, die Luft wenigstens bis zu 1 Linie Pressung zu verdünnen, so gelingt dieser Versuch selbst bei einer Temperatur von 25 — 30°. Die Temperatur einer mit Wasser befeuchteten Thermometerkugel sinkt sogar von 0° bis zu — 37°. (Leslie.)

Fig. 89.

Wollaston's Cryophor (Eisträger) beruht auf demselben Grundsatze, wie der vorher beschriebene, von Leslie erfundene Apparat zur Erzeugung künstlicher Kälte. Ein gebogenes Rohr (Fig. 89), an beiden Enden zugeschmolzen, etwas Wasser enthaltend und luftleer. Man bringt das Wasser in den einen Schenkel und taucht dann den andern in eine Kältemischung; die Flüssigkeit, hierdurch genöthigt, rasch zu verdampfen, kühlt sich ab und gefriert nach einiger Zeit.

Hygrometrie.

262. Die Hygrometrie hat zur Aufgabe: die Bestimmung der Spannkraft und Menge des bei irgend einer Temperatur in der

atmosphärischen Luft oder auch in einem andern Gase enthaltenen Wasserdampfes.

Diese Bestimmung wird zu einer blossen Rechnungsaufgabe, wenn die Luft mit Dampf gesättigt ist. Die Spannkraft findet man in diesem Falle mittelst irgend einer der Interpollationsformeln, welche die Relation zwischen der Temperatur und den Maximums-Spannkräften des Wasserdampfes ausdrücken. Wählt man z. B. die Formel β (Nr. 244), und setzt darin für t^0 die beobachtete Lufttemperatur, so wird die gesuchte Dunstspannung in Par. Linien gefunden.

Zur Ersparung dieser Rechnungen dient die Tafel XV, a, welche zwischen -20^0 und $+35^0$ für die ganzen und halben Temperaturgrade die entsprechenden Spannungsmaxima gibt. Eine weitere Ausdehnung dieser Tafel bis zu Zehntel-Graden ist ohne besonderen Werth; denn die Unsicherheit in den für die Spannkräfte des Wasserdampfes durch direkte Messung gefundenen Werthen beträgt mehr als die durch den Unterschied eines halben Temperaturgrades bewirkten Veränderungen derselben.

Ist die Spannkraft des Dampfes für eine gewisse Temperatur gegeben, so findet man (253), wie viel Gewichtstheile desselben in 1000 C. C. Luft enthalten sind, mit Hülfe der Formel:

$$d\ \text{grm} = \frac{1000\ (273 + T)\ e}{(273 + t)\ B} \cdot \frac{D}{V};$$ die sich, indem $T = o$, $B = 336{,}9$ und $\frac{D\ 1000}{V} = 0{,}80557$ (Tafeln, S. 17) gesetzt wird, verwandelt in

$$d\ \text{grm} = \frac{0{,}6528\ .\ e}{278 + t};\ \text{(u)}$$

263. Nur selten ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt. Die Bestimmung ihres Feuchtigkeitszustandes, das ist: des Verhältnisses der Dampfmenge, welche wirklich darin enthalten ist, zu derjenigen, die bei der herrschenden Temperatur darin enthalten seyn könnte, ist nun vorzugsweise der Zweck einer hygrometrischen Untersuchung.

Es lassen sich aus den bekannten Eigenschaften des Wasserdampfes verschiedene Methoden ableiten, den Feuchtigkeitszustand der atmosphärischen Luft zu messen. Mit dem Worte Hygrometer bezeichnet man jede zu einer solchen Messung brauchbare Geräthschaft.

264. Die Menge der Luftfeuchtigkeit kann direkt bestimmt werden, indem man ein abgemessenes Volum Luft durch ein Glasrohr leitet, das geschmolzenes und gröblich zerstossenes Chlorcalcium oder mit concentrirter Schwefelsäure befeuchteten Asbest enthält. Die Luft, wenn sie nur langsam genug durch das Rohr geht, wird vollkommen ausgetrocknet; der Gewichtsunterschied des letzteren

vor und nach dem Versuche gibt daher unmittelbar die gesuchte Dampfmenge. Dividirt man dieselbe durch die Gewichtsmenge Dampf, welche derselbe Raum bei derselben Temperatur aufnehmen könnte, so erhält man den Feuchtigkeitszustand. Einen für dieses Verfahren sehr geeigneten Apparat hat Brunner beschrieben, in Pogg. Ann. B. 20, S. 274.

265. Wenn die atmosphärische Luft bei unverändertem Barometerstande langsam erkaltet, so kühlen sich auch die Dämpfe ab, welche sie enthält und nähern sich dadurch ihrem Sättigungspuncte, ohne dass ihre Spannkraft sich ändern kann, bis sie endlich bei fortdauerndem Sinken der Temperatur ein Maximum ihrer Dichtigkeit (den Sättigungspunct) erreichen. Dieser Temperaturpunct, bei welchem also, wenn er die herrschende Temperatur bezeichnete, die Atmosphäre gerade mit Dampf gesättigt seyn würde, hat den Namen des Thaupunctes erhalten, weil Abkühlung unter denselben eine theilweise Verdichtung zu tropfbarer Flüssigkeit (einen Thauniederschlag) bewirkt.

Kennt man die herrschende Temperatur und den Thaupunct, so lässt sich der Feuchtigkeitszustand der Luft berechnen; denn da nach dem mariottischen Gesetze Dichtigkeit und Gewicht des Wasserdampfes, so lange die Temperatur sich nicht ändert, seiner Spannkraft direkt proportional sind, so muss die dem Thaupuncte entsprechende Dunstspannung sich zu der der herrschenden Temperatur entsprechenden Dunstspannung verhalten, wie der wirkliche Wassergehalt der Luft zu demjenigen, welchen sie (bei der herrschenden Temperatur) möglicher Weise aufnehmen könnte.

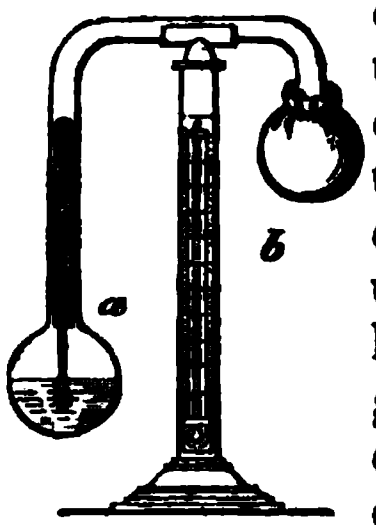
Auf diesem Wege hat zuerst Dalton den Feuchtigkeitszustand der Luft wirklich gemessen. Zur Bestimmung des Thaupunctes bediente er sich eines Verfahrens, das früher schon Le Roy angewendet hatte. Ein Glas wird mit kaltem, nach Erforderniss durch Eis oder auflösliche Salze abgekühltem Wasser gefüllt und ein recht empfindliches Thermometer hineingestellt. Die Kälte des Glases theilt sich der umgebenden Luft mit, ihre Temperatur sinkt und bald gelangt der in ihr vertheilte Dampf auf seinen Sättigungspunct. So wie sich jetzt die Temperatur noch weiter erniedrigt, kann sich nicht aller Dampf mehr gasförmig erhalten, ein Theil wird verdichtet und setzt sich als Thau an den kalten Glaswänden ab. Gesetzt, die Temperatur der Luft sey 16° und das Thermometer im Wasser zeige 8° in dem Augenblicke, da das Glas mit einem zarten, aber noch deutlich sichtbaren Anfluge von Feuchtigkeit überzogen wird.

Man giesse das Wasser in ein anderes Glas, dessen Wände noch ganz trocken und rein sind. Angenommen, es bilde sich nicht die geringste Spur mehr eines Feuchtigkeits-Niederschlags und das eingetauchte Thermometer zeige 9°; so muss der Thaupunct niedriger als 9°, aber höher als 8° liegen. 8°,5 ist ein ge-

näherter Werth dafür. Nun ist die der Temperatur von 16° zugehörige Dunstspannung 6‴,33; für 8°,5 findet man 3‴,96. Dieselbe Spannkraft besitzt aber dieser bei 8°,5 gesättigte Dampf auch bei 16°, weil er sich in der Atmosphäre, während er sich erwärmte, frei ausdehnen konnte. Der Feuchtigkeitszustand der Luft wird folglich durch die Zahl $\frac{3,96}{6,33} = 0,626$ ausgedrückt, d. h. sie enthält 62 — 63 Procent der Wassermenge, welche sie aufnehmen könnte.

266. Um nach dieser Methode den Thaupunct mit mehr Bequemlichkeit und grösserer Sicherheit und Schärfe erfassen zu können, hat Daniell das nach ihm benannte, später namentlich von Körner verbesserte Instrument ersonnen. Es besteht aus zwei Glaskugeln *a* und *b* (Fig. 90), welche durch ein Rohr in Verbindung stehen; sie sind luftleer und *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt. Die Kugel eines sehr feinen und empfindlichen Thermometers taucht in den Aether. Die Kugel *a* ist platinirt und dadurch metallisch glänzend; *b* ist mit Musselin umgeben. Man träufelt etwas Aether auf diese Hülle. Die hierdurch bewirkte Abkühlung der Kugel *b* hat eine Verdichtung des im inneren Raume derselben enthaltenen oder in diesen Raum eindringenden Dampfes zur Folge. Daher Verdampfung der Flüssigkeit in *a* und allmähliges Erkalten derselben. Der Thaupunct wird bald erreicht, überschritten und eine dünne Lage Flüssigkeit an der Kugel abgesetzt. Da die metallisch glänzende Oberfläche der letzteren durch den geringsten Anflug von Feuchtigkeit sogleich ein mattes Ansehen gewinnt, so lassen sich die Gränz-Temperaturen, wo der Niederschlag noch nicht stattfand und wo er sich eben gebildet hat, ziemlich scharf erfassen. Ein gleichgehendes Thermometer, an demselben Apparate angebracht, zeigt die Lufttemperatur.

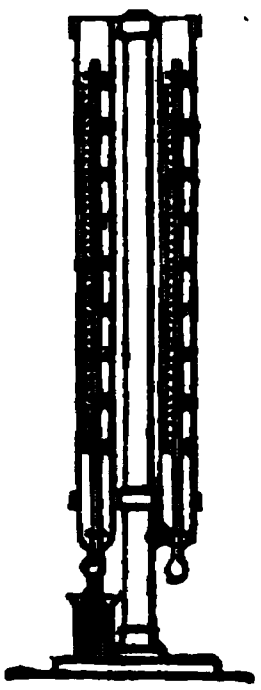
Fig. 90.



267. Der Gebrauch des Daniell'schen Hygrometers und aller auf demselben Principe beruhenden hygrometrischen Vorrichtungen erfordert stets die Anstellung eines Versuchs, der Zeit in Anspruch nimmt. Man hat nicht den Vortheil, wie bei Barometer und Thermometer, durch blosse Beobachtung sogleich das Resultat zu erfahren. Diesen Vorzug bietet das Thermo-Hygrometer, auch Psychrometer genannt. Es ist seinem Principe nach von Leslie erfunden, aber zuerst in der Form, welche ihm August gab, ein wirkliches Messinstrument geworden.

Von zwei ganz gleichgehenden, in Fünftel-Grade getheilten Thermometern (Fig. 91), die neben einander an demselben Gestelle befestigt sind, ist das eine mit Musselin umwickelt, welcher über und unter der Thermometerkugel zusammengebunden ist und in

Fig. 91.



Form eines Stranges in ein mit reinem Wasser angefülltes Glasgefäss hinabreicht. Durch Aufsaugen der Flüssigkeit bleibt die Thermometerkugel, ungeachtet der eintretenden Verdunstung, fortwährend benetzt. Ihre Temperatur erniedrigt sich aber, um so mehr, je rascher die Verdunstung vor sich geht, d. h. je trockner die Luft ist. Zuletzt, wenn der Wärmeverlust sich mit dem Wärmezufluss in's Gleichgewicht gesetzt hat, muss das benetzte Thermometer immer eine beständige Temperatur annehmen; die der herrschenden Temperatur und Luftbeschaffenheit entsprechende Verdunstungskälte. Von diesem Augenblicke an beruht die Fortdauer der Verdunstung hauptsächlich auf derjenigen Wärme, welche das Wasser von der umgebenden Luftschicht empfängt, und die es mit dem Dampfe wieder zurückgibt. Die Luft sättigt sich mit diesem Dampfe, während ihre Temperatur bis zur Verdunstungskälte herabsinkt. Die freie Wärme, welche sie verlor, kommt also derjenigen gleich, die sie als gebundene Wärme wieder erhielt.

Man kennt die gebundene Wärme des Dampfes, so wie die specifische der Luft. Aus dem Wärmeverlust der letzteren, wofür der Unterschied des Standes des trocknen und nassen Thermometers den Maassstab gibt, lässt sich daher die Dampfmenge berechnen, welche sie noch aufnehmen musste, um sich bei der Temperatur des nassen Thermometers (der Verdunstungskälte) damit zu sättigen. Hieraus kann alsdann der wirkliche Feuchtigkeitsgehalt der Luft oder die Spannkraft desselben leicht abgeleitet werden.

Diese Rechnung gründet sich auf zwei Voraussetzungen, welche nicht in aller Strenge als richtig angenommen werden können; dass nämlich die das nasse Thermometer umspülende Luft sich vollständig mit Dampf sättige, und dass alle hierzu verwendete Wärme von der Luft selbst genommen werde. Aber abgesehen davon, dass beide Voraussetzungen nicht ganz richtig sind, muss der hierdurch begangene Fehler je nach der Schnelligkeit der Luftbewegung und der Beschaffenheit der Wärme strahlenden Umgebung, veränderlich seyn. Die in der Rechnungsformel enthaltene Constante muss daher, streng genommen, für jeden Standort des Thermo - Hygrometers durch vergleichende Versuche mit dem Brunner'schen oder Daniell'schen Hygrometer berichtigt werden. Wenn dieses Instrument frei steht, und bei bewegter Luft, doch keinem heftigen Winde ausgesetzt ist, empfiehlt August die folgenden Formeln, als wohl übereinstimmend mit der Erfahrung.

Für Temperaturen über 0^0:

$$e = e^1 - 0{,}0008\ (t - t^1)\ b$$

Für Temperaturen unter 0^0:

$$e = e^1 - 0{,}0007\ (t - t^1)\ b.$$

Es bedeutet b den Barometerstand, t den Stand des trocknen, t^1 den des nassen Thermometers, e^1 die der Verdunstungskälte entsprechende, e die gesuchte Spannkraft.

Die beim Gebrauche des Thermo-Hygrometers vorkommenden Rechnungen lassen sich in vielen Fällen mittelst einer von Eckhardt (Ann. der Pharm., B. 13, S. 361) entworfenen Tafel ganz ersparen. (Siehe Tafel XVI.) Diese Tafel gibt den Wassergehalt der Luft in Milliontheilen des Raumes. Das trockne Thermometer stehe z. B. auf 12°; die Differenz beider Thermometer sey 4, so zeigt die Tabelle, dass in 1 Kubikmeter Raum 6 Kubik-Centimeter Wasser in Dampfform enthalten sind.

Der Feuchtigkeitszustand, gleich wie die Temperatur der Luft, ist einem unaufhörlichen Wechsel unterworfen. Das Thermo-Hygrometer ist vorzugsweise geeignet, jede Aenderung desselben sogleich zu entdecken; es ist aus diesem Grunde ein für das Studium der Witterungskunde höchst wichtiges Werkzeug geworden.

268. Wir pflegen den Grad der Trockenheit oder der Nässe der Luft nach dem Grade der Schnelligkeit zu beurtheilen, womit die Verdunstung von Statten geht. Wir erhalten aber hierdurch nur ein Urtheil über die relative Trockenheit. Wenn z. B. bei einem Thermometerstande von 8° feuchte Körper nur unmerklich verdunsten, Körper von niedrigerer Temperatur sich sogleich mit Thau bedecken, so sagen wir: die Luft sey feucht. Angenommen, das benetzte Thermometer zeige in diesem Falle einen Grad weniger als das trockne, so beträgt der Sättigungsgrad der Luft 86 Procent, die wirkliche Feuchtigkeitsmenge (nach Tafel XVI) 7,5 Milliontheilchen des Raumes. Steigt die Temperatur auf 20°, ohne dass mehr Wasser verdunstet, so sinkt der Sättigungsgrad bis auf 44 Procent und die Luft bewirkt jetzt die Empfindung von Trockenheit, ungeachtet doch ihr wirklicher Feuchtigkeitsgehalt sich nicht geändert hat; sie ist also nur relativ trockner geworden. Um denselben Eindruck von Nässe wie früher hervorzubringen, würde die Menge des darin aufgelösten Dampfes auf 14,7 Milliontheilchen anwachsen müssen. Die Atmosphäre enthält in Deutschland selbst in der warmen Jahreszeit nur selten eine so beträchtliche Wassermenge; man findet sogar, dass der Thaupunct bei uns selten 15° übersteigt. Die Luft erscheint daher im Sommer meistens trocken, ungeachtet sie in dieser Jahreszeit fast immer mehr dampfförmiges Wasser aufgenommen hat, als in den nassen Monaten November und December.

Die absolute Dampfmenge in der Atmosphäre vermindert sich wie die Temperatur vom Aequator nach den Polen hin. Gleichwohl hat man den relativen Feuchtigkeitsgehalt, oder den Feuchtigkeitszustand, in verschiedenen Breiten, über dem Meere nur wenig verschieden gefunden. Denkt man sich die ganze, zu gleicher Zeit in der Atmosphäre befindliche Dampfmenge als tropfbares Wasser, so würde die Erdoberfläche höchstens 2 bis 3 Zoll hoch damit bedeckt werden. Das im Laufe eines Jahres aus der Atmosphäre niederfallende Wasser kann aber weit mehr betragen. In den Ebnen

Deutschlands z. B. fällt jährlich eine Regenmenge, welche zusammengenommen, den Boden fast 2 Fuss hoch bedecken würde.

Wasser-Niederschläge aus der Atmosphäre erfolgen, so oft der atmosphärische Wasserdampf unter seinen Thaupunct abgekühlt wird. Für eine gleich starke Abkühlung unter den Thaupunct fallen sie um so reichlicher, einer je höheren Temperatur derselbe entspricht, weil die Dichtigkeit des Dampfes in einem grösseren Verhältnisse als die Temperatur zunimmt. Geht die Abkühlung in der Nähe des Bodens vor sich, so entsteht Thau, Reif, Glatteis; findet sie in beträchtlicher Höhe über der Erde statt, so fällt Regen, Schnee, Schlossen. — Wolken und Nebel sind ebenfalls feuchte Niederschläge, bei welchen jedoch das durch Verdichtung des Dampfes gebildete Wasser noch nicht in Tropfen zusammengeflossen ist, sondern die Gestalt von Bläschen besitzt, deren überaus dünne Wände mit Feuchtigkeit gesättigte Luft umschliessen. Bei fortdauernder Abkühlung gehen diese Bläschen in Tropfen über. Erhöht sich aber die Temperatur, wird die Luft wieder trockner, so treten sie in die Form von unsichtbarem Dampfe zurück.

269. Alle Körper, ohne Ausnahme, besitzen das Vermögen, Feuchtigkeit aufzunehmen, mehr oder weniger, je nach ihrer äusseren Beschaffenheit und Verwandtschaft zum Wasser. Manche Stoffe, wie concentrirte Schwefelsäure, Chlorcalcium, Aetzkalk u. a. m., saugen dasselbe mit solcher Begierde auf, dass man sie bekanntlich benutzen kann, um die Luft auszutrocknen. Bei der Mehrzahl der Körper gehört diese Einwirkung auf das Wassergas zu der Klasse der Adhäsions- oder Absorptions-Erscheinungen (231) und richtet sich daher nach dem Feuchtigkeitszustande der Atmosphäre. In ganz feuchter Luft, gleichgültig bei welcher Temperatur, nehmen alle derselben ausgesetzte Körper das ihrer besonderen (hygroscopischen) Beschaffenheit entsprechende Maximum von Wasser auf; sie sättigen sich damit. Entfernt sich der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre vom Sättigungspuncte, so verlieren auch die darin befindlichen Körper von ihrem Wassergehalte; sie trocknen so lange, bis ihr Absorptionsvermögen mit dem Expansivvermögen des eingesogenen Wassergases wieder im Gleichgewichte steht. In ganz trockner Luft, ihre Temperatur sey hoch oder niedrig, geht nach und nach alles Wasser fort, das ein Körper absorbirt hatte. Mittelst Schwefelsäure, und zumal unter der Luftpumpe, lassen sich daher die Körper vollständig austrocknen. Durch Erwärmen wird das Austrocknen nur desshalb befördert, weil die relative Trockenheit der Luft dadurch vermehrt wird. Durch die Wärme allein, ohne Beihülfe eines trocknen Luftstromes, lässt sich jedoch die einem Stoffe anhängende Feuchtigkeit nie vollständig austreiben.

Holz, Papier, Holzkohle, Haare, Wolle, Häute und viele andere Stoffe, die aus dem Pflanzen- oder Thierreiche abstammen, zeichnen sich durch ihr Ver-

mögen, den Wasserdampf zu absorbiren, besonders aus; aber auch Körper aus der unorganischen Natur, selbst die härtesten Steine, Glas, besonders in Pulvergestalt, können der Luft einen Theil ihrer Feuchtigkeit entziehen und vermehren dadurch ihr Gewicht.

Viele Körper vergrössern durch Aufnahme von Wasser sehr bemerkbar ihren Umfang; z. B. Holz, Fischbein, bei welchen sich die Feuchtigkeit zwischen die Fasern lagert, dehnen sich dadurch senkrecht gegen die Richtung der Fasern aus; Seile verkürzen sich, indem sie im Sinne der Breite anschwellen; Haare werden länger. Diese Eigenschaft verschiedener Stoffe ist häufig als ein Mittel benutzt worden, den Feuchtigkeitszustand der Luft zu messen. Insbesondere hatte das von Saussure erfundene, später von Gay-Lüssac graduirte Haar-Hygrometer sich einen grossen Ruf erworben. Da jedoch die Längenveränderungen des Haars im Laufe der Zeit nicht gleich und folglich die Anzeigen dieses Instrumentes nicht verlässig bleiben, so ist dasselbe durch das Thermo-Hygrometer verdrängt worden.

VIII. Von den magnetischen und electrischen Kräften.

Erscheinungen und Gesetze der magnetischen Anziehung und Abstossung.

270. Gewisse Körper besitzen die merkwürdige Eigenschaft, metallisches Eisen anzuziehen und mit einer Kraft festzuhalten, die häufig um vielmal grösser ist, als ihr eigenes Gewicht. Man nennt sie Magnete, und die Eigenschaft, wodurch sie sich auszeichnen, Magnetismus.

Der Magnetismus ist zuerst an einigen Eisenerzen bei ihrem natürlichen Vorkommen, insbesondere an der unter dem Namen Magnet-Eisenstein (Eisenoxyduloxyd) bekannten, niederen Oxydationsstufe des Eisens beobachtet worden. Später entdeckte man, dass auch metallisches Eisen, ferner dass Nickel und Kobalt diese Eigenschaft annehmen können. Bei keinem andern Körper hat sie bis jetzt als ein bleibender Zustand mit Sicherheit nachgewiesen werden können; ungeachtet es sehr viele gibt, die in gewissen Fällen, wiewohl nur vorübergehend, sich ähnlich wie die Magnete verhalten.

Das magnetische Eisenerz war schon den Alten wohl bekannt und soll zuerst in der Nähe der Stadt Magnesia, in Lydien, entdeckt worden seyn. Magnetische Wirkungen hat man auch hier und da an manchen Felsarten und einzelnen Felsblöcken, namentlich an Graniten und Basalten, wahrgenommen, fand aber dann bei näherer Untersuchung immer, dass sie Eisen auf einer niedrigen Oxydationsstufe eingesprengt enthalten. Wenn man an Metallen, mit Ausnahme der vorerwähnten, Spuren magnetischer Anziehung bemerkt, wie diess z. B. bei Kupfer und Messing nicht selten vorkommt, so darf man stets mit Sicherheit auf einen Gehalt an Eisen oder Nickel schliessen.

271. Das geschmiedete Eisen ist gewöhnlich nicht von selbst magnetisch, aber es gewinnt diese Eigenschaft bei der blossen Berührung mit einem Magnete und zieht dann, so lange die Berührung fortdauert, andere Eisenstücke fast eben so stark an, wie der Magnet selbst. Von dem letzteren wieder getrennt, verliert es so-

gleich die ihm mitgetheilte Kraft, entweder ganz oder doch grösstentheils. Eisen, welches Schwefel, Phosphor oder Kohle, wenn auch in ganz geringen Mengen enthält, nimmt die magnetische Kraft nicht so willig an, als das reinere Schmiede-Eisen, behält aber dann den ihm ertheilten Magnetismus dauernder.

Durch seine Eigenschaft, bleibenden Magnetismus annehmen zu können, zeichnet sich vor allen andern Körpern der gehärtete Stahl aus. Die meisten Magnete, die man gebraucht, werden daher aus Stahl verfertigt. Man nennt sie zuweilen künstliche Magnete, um sie von den natürlich vorkommenden zu unterscheiden. Der Stahl, am bessten Gussstahl, nachdem er eine zweckdienliche Gestalt erhalten, wird gehärtet, indem man ihn aus der Roth-Glühehitze, möglichst gleichzeitig an allen Puncten, am besten durch eine Oelschicht, in kaltes Wasser senkt und darin erkalten lässt. Durch Streichen mit einem Magnete wird er dann magnetisch gemacht, oder wie man sich ausdrückt, magnetisirt. Ist man schon im Besitze eines kräftigen Magnets, so ist mehrmaliges stetig fortgesetztes Streichen von einem zum andern Ende und über beide Seiten eines dünnen Stahlstreifens gewöhnlich hinreichend, um ihm so viel Magnetismus beizubringen, als er überhaupt dauernd beibehalten kann. Das Streichen muss jedoch immer in derselben Richtung und mit demselben Ende des Magnets geschehen.

272. Man kann mit einem und demselben Magnete eine noch so grosse Anzahl Stahlstäbe magnetisch machen, ohne dass er dadurch von seiner Stärke merklich verliert. Man muss hieraus schliessen, dass die Ursache der magnetischen Thätigkeit im Stahl, im Eisen und überhaupt in den Körpern, welche die Fähigkeit besitzen, magnetisch werden zu können, ursprünglich vorhanden ist und durch die Nähe eines wirksamen Magnets nicht mitgetheilt, sondern nur entwickelt oder zur freien Wirksamkeit gebracht wird.

273. Der Widerstand, den unreines Eisen, insbesondere der gehärtete Stahl, der Entwicklung des Magnetismus in seiner eignen Masse entgegensetzt, und der andererseits das Verschwinden des einmal hervorgebraehten Magnetismus erschwert, wird (worin nun auch das Wesen dieses Widerstandes bestehen mag) mit dem Worte Coërcitivkraft bezeichnet. Das weiche oder geschmiedete Eisen besitzt keine, oder doch nur eine sehr geringe Coërcitivkraft, und kann daher nicht bleibend magnetisch werden.

274. Die anziehende Kraft der Magnete auf Eisen, Kobalt und Nickel zeigt sich nicht bloss bei der Berührung; sie wirkt auch, wiewohl mit abnehmender Stärke, in die Ferne und nach jeder Richtung. Durch die meisten Körper, sogar durch den leeren Raum, pflanzt sie sich bei ungeändertem Abstande mit ungeschwächter Stärke fort. Der Umkreis, innerhalb dessen die Kraft eines Magnets bemerkbar bleibt, nennt man seinen Wirkungskreis (Wirkungssphäre).

Kleine Stücke Eisen, wie Abfälle von Draht, Nähnadeln, Feilspäne bewegen sich gegen einen Magneten mit beschleunigter Geschwindigkeit und hängen sich daran fest. Legt man ein dünnes Brett oder ein Stück steifes Papier auf Eisenfeile und nähert dann den Magnet, so wird der dazwischen liegende Stoff sammt den Feilspänen gehoben und festgehalten. Auch grössere Stücke Eisen, wenn sie leicht beweglich sind, werden schon aus der Entfernung angezogen. Man hänge einen Stab von recht reinem Schmiede-Eisen in seinem Schwerpuncte so auf, dass er um diesen Punct herum in jeder Richtung leicht beweglich ist. Man nähere sodann einen Magnet, so wird sich das eine oder andere Ende des Stabs, welches gerade das zunächst liegende ist, gegen den anziehenden Körper bewegen und allen seinen Bewegungen folgen. Diese Erscheinung wird in gleicher Weise eintreten, wenn man den Eisenstab hinter einem Schirme aufhängt oder unter eine Glasglocke bringt und aus dieser die Luft entfernt.

275. Die Kraft, womit Magnete das Eisen anziehen, ist an gewissen Stellen ihrer Oberfläche auffallend grösser, als an andern. Man bemerkt an jedem Magnete wenigstens zwei solcher Hauptpuncte magnetischer Anziehung. Zuweilen finden sich deren auch mehrere. Man nennt sie die Pole.

Die Pole sind leicht zu entdecken. Eisenfeile häuft sich an denselben, ähnlich einem dichten, borstigen Barte; auch tragen sie schwerere Eisenstücke, als andere Stellen. Ihre Lage lässt sich am anschaulichsten machen, wenn man auf einem Glasstreifen von der Länge des Magnetstabes Eisenfeile mittelst eines Siebs gleichförmig ausbreitet, dann den Magnet damit bedeckt und mehrmals mässig anstösst. Die Feilspäne ordnen sich dadurch in Strahlen, die von je zweien Polen nach allen Richtungen ausgehend, sich gegen einander biegen und zum Theile so in einander verlaufen, dass dadurch geschlossene Curven entstehen.

Bei den natürlichen Magneten pflegt man die verschiedenen Stellen, die sich als die wirksamsten ausweisen, zu ebnen und mit Schienen von Schmiede-Eisen zu belegen, die dann in zwei dickere hervorragende Enden auslaufen. An diesen muss sich also wegen der bekannten Eigenschaft des weichen Eisens die ganze Wirksamkeit des Magnets sammeln. Man verbindet beide Enden mit einem Querstücke, ebenfalls von weichem Eisen, dem Anker, woran die Gewichte, die der Magnet tragen soll, angehängt werden. Ein so ausgerüsteter natürlicher Magnet heisst bewaffnet (armirt). Man findet zuweilen natürliche Magnete von sehr bedeutender Tragkraft, die insbesondere bei kleinen Exemplaren zuweilen das Hundertfache ihres eigenen Gewichtes übersteigt. Einer der kräftigsten bekannten natürlichen Magnete ist der, womit Dalla Bella in Lissabon Versuche über das Gesetz der magnetischen Anziehung und Abstossung anstellte. Er wog 38½ Pfund und war im Stande, 202 Pfund zu tragen. (Pogg. Ann. B. 15, S. 83.)

276. Die meisten Magnetstäbe haben nur zwei Pole nahe an den Enden (daher der Name Pole). Die stärkste magnetische Anziehung zeigt sich übrigens niemals an den äussersten Enden. Man bemerkt, dass das schwerste Stück Eisen in einer Entfernung von 4 — 5 Linien vom Ende getragen wird. Weiter nach der Mitte hin nimmt dann das Tragungsvermögen rasch ab. Ungefähr in der Mitte ist eine Stelle, die gar keine magnetischen Wirkungen äussert. Eine gerade Linie, welche die beiden Pole eines Magnets verbindet, heisst seine Axe; eine Ebne winkelrecht gegen die magnetische Axe durch die wirkungslose Stelle gelegt, heisst die neutrale Ebne oder auch der Aequator des Magnets.

277. Eine magnetische Stahlnadel und im Allgemeinen jeder Magnetstab mit zwei Polen, der um einen festen Punct oder um

eine feste Axe herum freie Beweglichkeit besitzt, wird Magnetnadel genannt.

Magnetnadeln, sich selbst überlassen, nehmen stets eine bestimmte Richtung an, in welche sie, wenn man sie daraus entfernt, nach einer Reihe von Schwingungen wieder zurückkehren.

Wagrecht schwingende Magnetnadeln richten sich ungefähr von Norden nach Süden. Ihr nach Norden gerichtetes Ende pflegt man dann ihren Nordpol, das nach Süden gerichtete ihren Südpol zu nennen.

Eine Ebne, welche man sich durch beide Pole der ruhenden Nadel und zugleich durch den Mittelpunct der Erde gelegt denkt, heisst der magnetische Meridian des Ortes, wo sich die Nadel befindet.

Der magnetische Meridian eines Ortes fällt mit seinem geographischen Meridiane gewöhnlich nicht zusammen. Der Winkel, welchen beide bilden, heisst die Deklination. Sie hat sich an ein und demselben Orte zu verschiedenen Zeiten nicht immer gleich gezeigt. In Deutschland ist sie gegenwärtig ungefähr 20^0 westlich.

Wagrecht schwingende Magnetnadeln, die man eigends dazu verwendet, um den magnetischen Meridian eines Ortes, so wie die Deklination zu ermitteln und welche zu dem Ende mit einem getheilten Kreise versehen sind, werden Deklinations-Boussolen oder Compasse genannt. Ihre wichtige Anwendung bei der Schifffahrt ist bekannt.

278. Wenn man irgend einen der Pole eines kräftigen Magnets der Magnetnadel von der Seite nähert, so entfernt sie sich aus der Ebne des magnetischen Meridians, indem sie den einen ihrer Pole dem genäherten des Magnets zuwendet. Nach einer Reihe von Schwingungen erhält sie (bei unveränderter Lage des Magnets) zuletzt eine neue Gleichgewichtslage, in die sie, daraus entfernt, immer wieder zurückkehrt.

Wegen der Aehnlichkeit dieses Verhaltens mit dem der sich selbst überlassenen Magnetnadel erklärt man das Bestreben der letzteren, sich von Norden nach Süden zu richten, durch die Annahme, dass die Erde selbst ein Magnet sey, dessen einer Pol in nördlicher und dessen anderer Pol in südlicher Richtung liegt. Der magnetische Meridian eines Ortes bezeichnet genauer die Richtung, in welcher sich die magnetische Erdanziehung daselbst äussert.

279. Wird der eine Pol einer Magnetnadel dem entgegengesetzt gerichteten einer anderen Magnetnadel, nämlich das nördliche Ende der einen dem südlichen der andern genähert, so ziehen sie einander an. Dagegen die gleichgerichteten Pole stossen sich ab.

Die Magnetpole sind also nicht nur der Lage nach, sondern auch hinsichtlich ihrer Wirkungen einander entgegengesetzt. Um diesen Gegensatz bestimmter zu bezeichnen, hat man dem Nordpole der

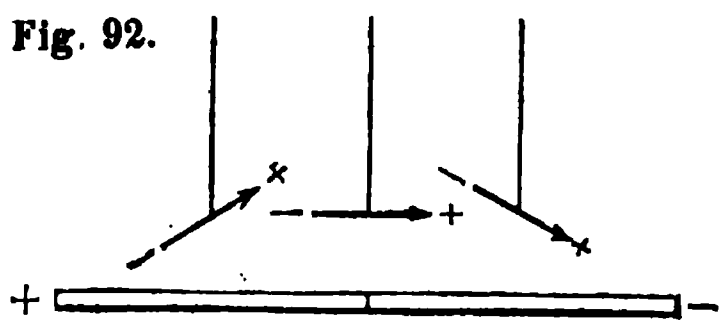
Nadel, so wie dem gleichartigen, nämlich dem abstossenden eines jeden andern Magnets, den Namen des positiven (+) Pols, dem Südpole den Namen des negativen (—) Pols beigelegt.

Den Gegensatz selbst in den Wirkungen beider Pole nennt man magnetische Polarität. Ein Magnetstab, der diesen Gegensatz äussert, z. B. die Nadel, die sich von Norden nach Süden richtet, ist magnetisch-polarisch.

Magnete können zwar mehr als zwei Pole haben, aber ihrem Verhalten nach können diese nur von zweierlei Art seyn, nämlich positive oder negative Pole, und immer findet man darunter wenigstens einen positiven und einen negativen.

280. Eine kleine Magnetnadel über der Mitte eines starken Magnetstabes aufgehängt (Fig. 92), nimmt eine mit der Richtung der Pole des letzteren gleichlaufende Lage an, doch so, dass ihr + Pol sich dem — Pole des Stabs, ihr — Pol sich dem + Pole des Stabs zuwendet. In diese Lage kehrt die Nadel, so oft man sie daraus entfernen mag, nach einer Reihe von Schwingungen stets zurück. Rückt man ihren Aufhängepunct aus der Mittellinie gegen das eine oder andere Ende des Stabs hin, so senkt sich ihre gegen dieses Ende gerichtete Spitze. Kommt der Aufhängepunct senkrecht über einen der Pole zu stehen, so nimmt auch die Nadel eine senkrechte Stellung an, dergestalt, dass ihr ungleichnamiger Pol sich dem des Stabes so weit wie möglich nähert.

Fig. 92.



Ein ähnliches Verhalten zeigen die Magnetnadeln über der Oberfläche der Erde, wenn sie im Schwerpuncte ihrer Masse frei aufgehängt sind. An gewissen Stellen, in der Nähe des Erdäquators, behaupten sie eine wagerechte Lage. Diese Stellen bilden eine unregelmässige, übrigens geschlossene krumme Linie rings um die Erde. Man nennt sie den magnetischen Erdäquator. Nördlich von dieser Linie senkt sich der positive Pol, südlich der negative Pol der Nadel. Z. B. in Deutschland und unter dem 50sten Breitegrad beträgt die Senkung des + Pols etwa 68 Grade. Noch beträchtlicher wird die Senkung, wenn die Nadel weiter nach Norden getragen wird, und nach den Beobachtungen des Capitäns Ross stellt sie sich unter dem 70° 5′ nördlicher Breite und 96° 45′ westlicher Länge von Greenwich fast senkrecht. Ein ähnlicher Punct, an welchem sich die Nadel in umgekehrtem Sinne, nämlich den — Pol nach unten, lothrecht stellt, findet sich im südlichen Polarkreise. Die Erde besitzt also einen magnetischen Nordpol und einen magnetischen Südpol; der erstere liegt westlich vom geographischen Nordpole, der andere östlich vom geographischen Südpole. Es ist einleuchtend, dass der Nordpol der Nadel mit dem mag-

netischen Nordpole der Erde nicht gleichnamig seyn kann. Die Bezeichnungen: positiver Pol und negativer Pol sind daher, weil sie Missverständnisse verhüten, bei den Magnetnadeln den Ausdrücken Nord- und Südpol vorzuziehen.

281. Aus dem Vorhergehenden ist ersichtlich, dass Stahlnadeln, welche in ihrem Schwerpuncte gestützt und um diesen Punct nach jeder Richtung frei beweglich sind, sobald sie magnetisirt werden, auf der nach Norden gerichteten Hälfte ein Uebergewicht erhalten. Nadeln, die genau in der wagerechten Ebne schwingen sollen (Deklinationsnadeln), müssen daher auf dem südlichen Ende beschwert werden, mehr oder weniger, je nach der magnetischen Breite eines Ortes.

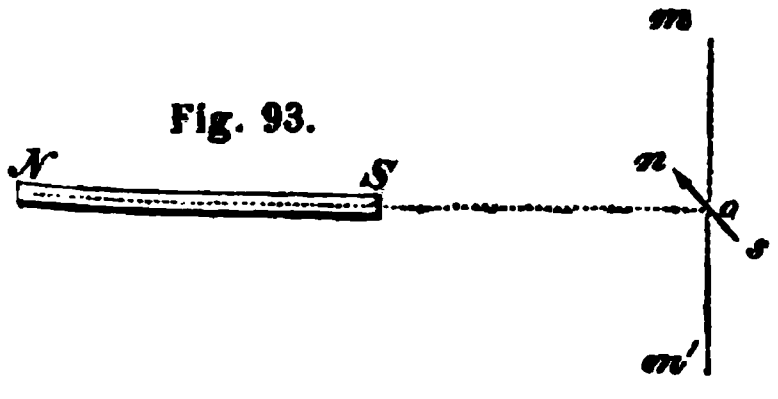
Um die Senkung oder die Inklination der Magnetnadel an einem Orte zu bestimmen, hat man besondere Werkzeuge, welche Inklinations-Boussolen genannt werden. Sie bestehen im Wesentlichen aus einem getheilten, lothrecht gestellten Kreise, in dessen Mittelpunct eine feine Magnetnadel auf wagerechter Axe ruht, so dass sie nur in der Ebne des lothrecht stehenden Kreises schwingen kann. Um den letzteren gleichlaufend mit dem magnetischen Meridian stellen zu können, dient eine zweite in wagerechter Ebne schwingende Nadel.

282. Die Magnetnadel ist eine Pendel, das magnetischen Einwirkungen folgt, ähnlich wie das Schwerependel der Schwerkraft.

Die magnetische Axe der Nadel während ihrer Ruhelage zeigt die Richtung der darauf einwirkenden magnetischen Kraft. Entfernt man die Nadel aus der Gleichgewichtslage, so lässt sich diese Kraft immer in zwei Kräfte zerfällen: eine, die, was immer die Lage der Nadel sey, in die Richtung ihrer magnetischen Axe fällt, die andere winkelrecht auf diese Richtung. Die erstere bewirkt keine Bewegung, die andere ist die Ursache der Schwingungen.

Ist eine Magnetnadel der gleichzeitigen Einwirkung von zwei Magneten ausgesetzt, so erkennt man aus ihrer Ruhelage die Richtung der Resultirenden beider Kräfte. Ein Magnetstab *NS* (Fig. 93) werde z. B. so auf den Tisch gelegt, dass seine verlängerte Richtung den magnetischen Meridian *mm'* einer kleinen Boussole im Mittelpunct der Nadel rechtwinklich durchschneidet. Die letztere, zur Ruhe gekommen, bildet nunmehr mit ihrem Meridiane einen Winkel *nom*, aus welchem, nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte, die Grösse der Einwirkung des Stabs verhältnissmässig zur Stärke der magnetischen Erdanziehung bestimmt werden kann. Betrüge der Ablenkungswinkel z. B. 4^{5^0}, so würden beide Kräfte einander gleich seyn. Diese Einwir-

Fig. 93.

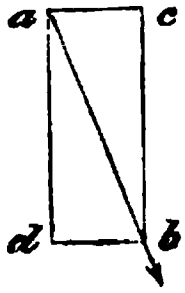


kung eines Magnetstabs auf die Nadel ändert sich natürlich mit der Grösse des Abstandes (274).

Erhält der Magnetstab NS eine solche Stellung, dass seine magnetische Axe mit der Linie mm' zusammenfällt, so wird, je nach der Lage seiner Pole, die Wirksamkeit des Erdmagnetismus auf die Nadel der Boussole verstärkt, oder auch geschwächt. Das erstere erkennt man aus der schnelleren, das letztere aus der langsameren Bewegung der schwingenden Nadel (148). Die Nadel hört auf zu schwingen, d. h. sie lässt sich in jeder Stellung zur Ruhe bringen, wenn die Einwirkung des Magnets derjenigen des Erdmagnetismus gleich und entgegengesetzt ist. Dieses Resultat, theoretisch leicht vorherzusehen, erfordert für die experimentelle Darstellung eine sehr kleine Magnetnadel und einen Magnetstab von so bedeutender Stärke, dass er schon aus der Entfernung von mehreren Fussen eine dem Erdmagnetismus gleiche Wirkung hervorbringen kann; oder mit andern Worten, das Verhältniss muss so gewählt seyn, dass durch eine Veränderung in der Lage der Nadel die Abstände ihrer Pole vom Magnetstabe nur verschwindend wenig geändert werden können.

Die eigentliche Richtung der magnetischen Erdanziehung erkennt man aus der Ruhelage der Inklinationsnadel. Man denke sich die in dieser Richtung wirkende Kraft ab (Fig. 94) in die horizontale Seitenkraft ac und in die verticale ad

Fig. 94.



zerlegt. Auf die Schwingungen der Deklinationsnadel kann nur ac wirken, indem die Kraft ad im Widerstande der Stütze verloren geht. — Lässt man dagegen die Magnetnadel in einer lothrechten Ebne schwingen, welche diejenige des magnetischen Meridians winkelrecht durchschneidet, so geht die Seitenkraft ac verloren und ad bedingt die Bewegungen der Nadel. Diese muss folglich in ihrer Gleichgewichtslage eine lothrechte Stellung einnehmen. Ueber den magnetischen Erdpolen äussert sich die ganze Intensität des Erdmagnetismus in der senkrechten Richtung. Die Inklinationsnadel strebt daher über den Polen sich senkrecht zu stellen, während die Deklinationsnadel richtungslos oder astatisch wird.

Eine Magnetnadel, deren Aufhängepunct in der verlängerten Axe eines geraden Magnetstabs liegt und deren Schwingungsebne diese Axe rechtwinklig durchschneidet, verhält sich ähnlich, wie die Deklinationsnadel über dem magnetischen Erdpole; sie ist ebenfalls richtungslos beziehungsweise auf die Einwirkung dieses Magnets.

Man kann die Magnetnadel an einem jeden Orte gegen den Einfluss des Erdmagnetismus astatisch machen, wenn man sie nöthigt, in einer Ebne zu schwingen, die auf der Richtung der Inklination winkelrecht steht. In Deutschland z. B. wird eine Magnetnadel astatisch, wenn die Ebne, in der sie sich frei bewegen kann, den

magnetischen Meridian des Ortes rechtwinklig durchkreuzt und mit dem Horizonte einen Winkel von ungefähr 22° bildet. Ein Apparat, vorzugsweise geeignet, das Verhalten der Magnetnadel in ihren verschiedenen Lagen unter der Einwirkung des Erdmagnetismus zu prüfen, ist Schmidt's sogenannte astatische Nadel (Gilbert's Ann. B. 70, S. 243.) Aus der Zeichnung Pl. III. Fig. 2 wird man den Gebrauch dieses Apparats ohne weitere Erklärung verstehen.

283. Die Geschwindigkeit einer freischwingenden Magnetnadel hängt ab von der Grösse ihres Trägheitsmomentes (Seite 73) und dem statischen Momente der vorhandenen magnetischen Kräfte; sie schwingt unter sonst gleichen Umständen schneller oder langsamer, je nachdem sie selbst mehr oder weniger stark magnetisirt worden ist. Ihre Schwingungen werden beschleunigt, wenn die Kraft eines andern Magnets sich zu derjenigen des Erdmagnetismus addirt; diese Beschleunigung ist um so bedeutender, je geringer die Entfernung des andern Magnets ist.

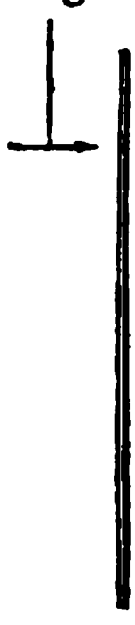
Da die Magnetnadel nichts anders ist, als ein Pendel, das unter dem Einflusse magnetischer Kräfte schwingt, so müssen die Quadrate ihrer Schwingungszeiten der jedesmaligen Intensität oder Stärke magnetischer Einwirkungen verkehrt proportional seyn (148), oder, was dasselbe sagt, diese Intensität steht im geraden Verhältnisse zum Quadrate der Anzahl Schwingungen, die in einer gewissen Zeit, z. B. in einer Minute, vollendet werden.

Bemerkt man daher, wie viele Schwingungen eine Magnetnadel unter dem Einflusse des Erdmagnetismus allein gemacht hat, und zählt dann die Schwingungen, welche dieselbe Nadel in einer gleichen Zeit unter dem gleichzeitigen und in gleicher Richtung thätigen Einflusse eines Magnetstabs vollendet, so müssen sich die Quadrate dieser Zahlen wie die magnetischen Einwirkungen in beiden Fällen verhalten. Die erste dieser Wirkungen von der zweiten abgezogen, erhält man folglich ein Mass für die Stärke der Einwirkung des Magnetstabs auf die Nadel.

Durch Versuche auf diesem Wege hat man gefunden, dass das Verhalten der Magnetnadel unter der Einwirkung magnetischer Kräfte ganz denselben Gesetzen unterliegt, wie das Verhalten des Schwerependels unter dem Einflusse der Schwerkraft. D. h. die Stärke der magnetischen Anziehung oder Abstossung steht im zusammengesetzten Verhältnisse der einander anziehenden oder abstossenden magnetischen Kräfte, und im verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung ihrer Angriffspuncte.

Auf das Stattfinden dieses Gesetzes hatte man schon aus theoretischen Gründen geschlossen, lange bevor Coulomb ziemlich sichere experimentelle Beweise für die Richtigkeit desselben geliefert hat. Coulomb brachte einen magnetischen Stahldraht von zwei Linien Durchmesser und 25 Zoll Länge in den Meridian einer sehr kleinen Magnetnadel lothrecht, und so, dass eines seiner

Fig. 95.



Pole in gleiche Höhe mit der Nadel zu liegen kam. Bei dieser Anordnung (Fig. 95) konnte die Einwirkung des andern Magnetpols, theils wegen des grossen Abstandes, theils wegen der schiefen Richtung, als verschwindend gering, unbeachtet bleiben, und der Pol *S* als Angriffspunct aller vom Magnetstabe auf die Nadel wirkenden Kräfte gelten. Die letztere war an einem einzigen Coconfaden aufgehängt und nur 12 Linien lang, also so kurz, dass bei mässigem Abstande des lothrechten Stahldrahts die Einwirkung seines Pols auf beide Pole der Nadel, ungeachtet des ungleichen Abstandes derselben, hinsichtlich ihrer absoluten Stärke keine merkliche Verschiedenheit zeigen konnte. Der Mittelpunct der Nadel durfte daher als gemeinschaftlicher Angriffspunct der in ihr thätigen magnetischen Kräfte genommen werden.

Diese Nadel, allein unter dem Einflusse des Erdmagnetismus, machte 15 Schwingungen in der Minute.

Unter der gleichzeitigen Einwirkung des magnetischen Stahldrahts und eines Abstandes von 4 Zoll vom Mittelpuncte der Nadel wurden in einer Minute 41 Schwingungen vollendet. Betrug der Abstand 8 Zoll, so war die Zahl der Schwingungen 24.

Setzt man nun die Intensität der magnetischen Einwirkung der Erde m, die des Magnets, bei dem ersten Versuche M, bei dem zweiten M′, so ist

$$15^2 : 41^2 = m : (m + M), \text{ folglich } M = 6{,}47\ m$$
$$15^2 : 24^2 = m : (m + M'), \text{ folglich } M' = 1{,}56\ m.$$

Die Zahl 1,56 ist nahe der vierte Theil von 6,47. Die Intensität der Einwirkung des Magnetpols zeigte sich also für den doppelten Abstand auf den vierten Theil vermindert. Bei grösserem Abstande, als 8 Zoll, nahm die Stärke des magnetischen Einflusses in einem grösseren Verhältnisse ab, als dem quadratischen der Entfernung, weil mit dem zunehmenden Abstande die entgegengesetzte Kraft des zweiten Pols verhältnissmässig einen mehr und mehr zunehmenden Einfluss gewann, der endlich als messbare Grösse sich geltend machte.

Zu ähnlichen Resultaten gelangte Coulomb durch Versuche mit der von ihm erfundenen Drehwage (Biot, traité de phys. T. 3, p. 63). Sie zeigten jedoch, gleich den vorhergehenden, nur innerhalb sehr enger Gränzen die Richtigkeit des Gesetzes.

Aus der Grösse der Ablenkung, welche die Magnetnadel unter der Einwirkung eines Magnetstabs erfährt, der in verschiedenen Entfernungen rechtwinklig gegen ihren Meridian gestellt wird, entweder wie in Fig. 97, oder so, dass die Mittellinie des Stabs in die Ebne des Meridians fällt, hat Gaus ganz allgemein den Beweis geführt, dass die wechselseitige Einwirkung magnetischer Elemente im verkehrten Verhältnisse des Quadrates ihrer Entfernung steht.

284. Alles Eisen, auch wenn es wie das Schmiede-Eisen nicht selbst magnetisch zu seyn scheint, wirkt auf die Magnetnadel. Aber das Schmiede-Eisen wirkt auf beide Pole derselben in gleicher Weise, nämlich anziehend. Der Grund ist, weil das Eisen bei der Berührung, ja schon bei der Annäherung eines Magnets, selbst magnetische Polarität annimmt, in der Weise, dass an demjenigen Ende, welches einem Pole des Magnets zugekehrt ist, ein ungleichnamiger Pol, an dem entgegengesetzten Ende ein gleichnamiger Pol entsteht. Diese Polarität besteht aber nur unter dem Einflusse des wirksamen Magnets; durch Umkehrung desselben wird sie sogleich ebenfalls umgekehrt und verschwindet, wenn er entfernt wird.

Eine Stange von Schmiede-Eisen von zwei bis drei Fuss Länge werde in wagerechter Lage so gerichtet, dass sie mit dem magnetischen Meridiane *n s* einen rechten Winkel bildet. Man rücke sodann gegen das eine Ende derselben den +

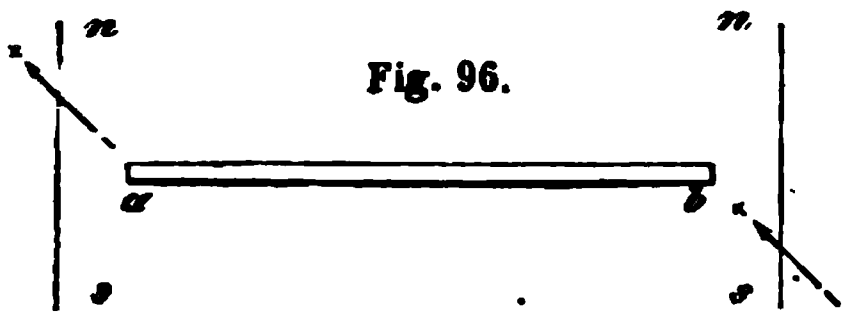


Fig. 96.

Pol einer kleinen Magnetnadel, gegen das andere Ende den — Pol einer zweiten. Beide werden von dem Eisen angezogen und dadurch schon aus einiger Entfernung aus ihren Ruhelagen abgelenkt werden. Nähert man hierauf allmählig von oben her dem Puncte *a* der Stange den positiven Pol, oder dem Puncte *b* den negativen Pol eines kräftigen Magnets, so findet man, dass bei einem gewissen Abstande desselben beide Nadeln von den benachbarten Enden der Stange abgestossen werden; ein Verhalten, welches beweist, dass bei *a* ein negativer Pol und zugleich bei *b* ein positiver Pol entstanden ist. Nach Entfernung des Magnetpols bewegen sich beide Nadeln wieder gegen den Eisenstab, um bei abermaliger Annäherung von Neuem abgestossen zu werden. Stellt man hierauf den Versuch umgekehrt an, d. h., bringt man über den Punct *a* den negativen Pol eines starken Magnets, so bemerkt man keine Abstossung der Nadeln, sie werden vielmehr kräftiger als vorher angezogen; bei *a* muss sich folglich in diesem Falle ein + Pol, bei *b* ein — Pol gebildet haben. Man hat es also ganz in seiner Gewalt, das weiche Eisen polarisch zu machen und diese Polarität, so oft man will, zu verändern. Verschiedene Magnete von ungleichem Tragungsvermögen unterscheiden sich nicht in Beziehung auf die Art, sondern nur hinsichtlich der Stärke ihrer Wirksamkeit. Man begreift daher, dass Eisen sich nicht in der Umgebung einer Magnetnadel befinden kann, ohne nicht selbst einen geringen Grad magnetischer Polarität anzunehmen, dass z. B. bei *b* (Fig. 96) unter dem Einflusse des nahen + Poles der Nadel ein — Pol entstehen musste.

Sehr häufig ist das Schmiede-Eisen unrein; die demselben ertheilte Polarität verschwindet dann nicht sogleich nach Entfernung des äusseren magnetischen Einflusses; so lange sie sich erhält, werden die Pole einer Magnetnadel nicht ohne Wahl von beiden Enden der Eisenstange angezogen.

Gehärtete Stahlstangen wirken auf eine kleine Magnetnadel gewöhnlich nur dann, wenn sie bereits magnetisch sind, oder fast bis zur Berührung genähert werden. Der Grund ist, weil ihre Coërcitivkraft bei der Annäherung eines Magnets von geringer Stärke nicht sogleich überwunden wird. Aus demselben Grunde, weil nämlich die Coërcitivkraft die Entwickelung der magnetischen Polarität erschwert, wird gehärteter Stahl auch von kräftigen Magneten nicht mit gleicher Leichtigkeit und Stärke, als das weiche Eisen, angezogen.

Die magnetische Polarität des Eisens entwickelt sich schon unter dem Einflusse des Erdmagnetismus. Eine Stange von Schmied-Eisen verhält sich nur dann ganz unmagnetisch, wenn sie mit der Richtung der magnetischen Erdanziehung einen rechten Winkel bildet. In jeder anderen Lage bildet sich an dem am meisten nördlich oder am tiefsten nach unten stehenden Ende ein + Pol, am anderen Ende ein — Pol. Diese Polarität wird am vollständigsten entwickelt, wenn man die Stange mit der ruhenden Inklinationsnadel gleichlaufend richtet.

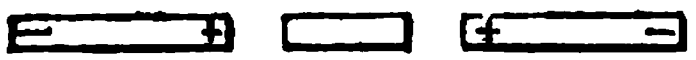
Gehärtete Stahlstangen, der Einwirkung des Erdmagnetismus ausgesetzt, zeigen sich gewöhnlich nicht sogleich polarisch; wird aber eine Stahlstange in lothrechter Stellung, oder auch während sie von Norden nach Süden gerichtet ist, erschüttert, etwa durch Hammerschläge, so gewinnt sie allmählig einen bemerkbaren Grad bleibender magnetischer Polarität. Hieraus erklärt sich, warum Stahlwerkzeuge so häufig magnetisch sind.

285. Zwei Magnetstäbe von gleicher Grösse und ungefähr gleicher Stärke, mit ihren gleichnamigen Polen zusammengelegt, tragen fast das Doppelte von dem, was jeder einzelne tragen kann, und bilden also gleichsam einen einzigen Magneten von verstärkter Kraft. Aehnliches gilt von mehreren mit ihren gleichnamigen Polen verbundenen Magneten. Die kräftigsten Magnete bestehen

gewöhnlich aus 3 bis 5, selten aus einer grösseren Anzahl verbundener Magnetstäbe, wovon jeder zuvor so stark wie möglich magnetisirt worden war. Eine solche Zusammensetzung wird ein magnetisches Magazin genannt.

286. Wenn man einem Stücke Eisen die gleichnamigen Pole zweier ungefähr gleich starken Magnete von entgegengesetzten Seiten nähert (Fig. 97), so bleibt es unmagnetisch und wird gar nicht angezogen, weil der eine Magnet die von dem andern im weichen Eisen hervorgerufene Polarität wieder aufhebt. Dasselbe findet statt, wenn dem Eisen von einer und derselben Seite her gleichzeitig der + Pol des einen, aber der — Pol des andern Magnets dargeboten wird. Hatte sich das Eisen zuvor an dem einen Magnet z. B. an seinem + Pole angehängt, so fällt es bei der Annäherung des — Poles des andern wieder ab.

Fig. 97.

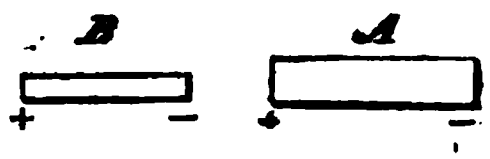


Das in der Umgebung eines Magnets befindliche Eisen ist stets den Einwirkungen seiner beiden Pole ausgesetzt. Wenn sich diese gleichwohl nicht wechselseitig aufheben, so kann der Grund nur in einer Ungleichheit des Abstandes liegen. Einleuchtend ist es aber, dass der in irgend einem Puncte sichtbare magnetische Einfluss nichts anders seyn kann, als der Unterschied der Wirkungen, welche von beiden Polen aus in diesem Puncte hervorgebracht werden. Es geht hieraus hervor, dass die Magnete bei gleicher Tragkraft eine um so grössere Wirkung in der Ferne äussern, je weiter ihre Pole aus einander liegen.

Z. B. Magnete, die hufeisenförmig gebogen sind, besitzen im Vergleiche zu geraden Magnetstäben von derselben Stärke eine sehr geringe Wirksamkeit in die Ferne.

287. Werden zwei Magnete von ungleicher Stärke *A*, und *B*, (Fig. 98) mit gleichgerichteten Polen einander genähert, so muss bei einem gewissen Abstande der Wirkungskreis des einen Pols, z. B. des — Pols des schwächeren Magnets *B* in den Wirkungskreis des + Pols von *A* ganz hineinfallen. So lange beide Magnete in dieser Lage verharren, scheint der — Pol von *B* sein Tragungsvermögen sowie seine Wirksamkeit in die Ferne verloren zu haben. Man sagt dann: die in diesem Pole vorhandene magnetische Kraft ist gebunden. Besitzt der eine Magnetpol über den ungleichnamigen eines andern Magnets nicht das Uebergewicht, so kann die Kraft des letzteren nicht vollständig gebunden werden, weil sein Wirkungskreis nur theilweise in den des andern fallen kann.

Fig. 98.



Die freie Wirksamkeit des + Pols von *B* vermehrt sich durch die Bindung der magnetischen Kraft seines — Pols, gerade so, als habe sich dieser letztere in einen + Pol von genau gleicher absoluter Stärke verwandelt. Dagegen die freie Wirksamkeit des

+ Pols von *A* nimmt ab, oder seine magnetische Kraft tritt theilweise ebenfalls in den gebundenen Zustand. Besitzen die beiden einander zugekehrten Pole von *A* und *B* gleiche Stärke, und denkt man sie bis zur Berührung zusammengerückt, so decken sich ihre Wirkungssphären wechselseitig. In diesem Falle muss also eine vollständige wechselseitige Bindung eintreten.

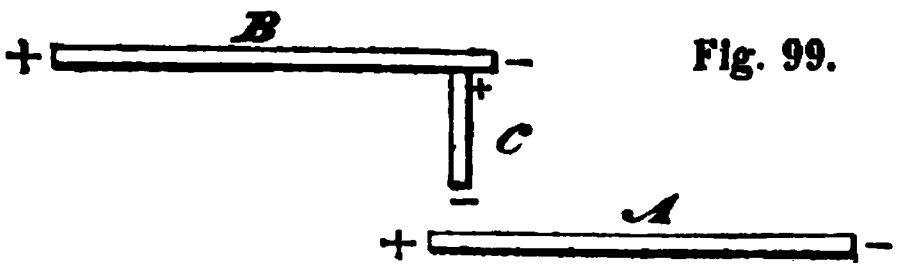
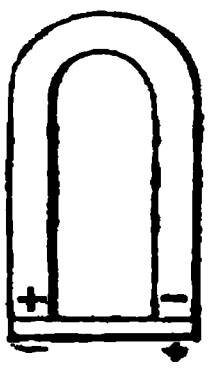


Fig. 99.

Beispiel: Ein Stück Eisen *C* (Fig. 99), das von einem Pole des Magnets *B* eben noch getragen wird, fällt ab, sobald der ungleichnamige Pol eines anderen Magnets von Oben oder von der Seite genähert wird (286). Bietet man dagegen diesen ungleichnamigen Pol dem Eisen von unten dar, so wird es mit verstärkter Kraft angezogen; wurde es vorher nicht getragen, so kann es jetzt festgehalten werden. Denn der + Pol des Stabes *A* (Fig. 99) bindet die magnetische Kraft des im weichen Eisen unter dem Einflusse von *B* erzeugten — Pols und vermehrt dadurch die freie Wirksamkeit des + Pols von *C*. — Ist *A* ein weit stärkerer Magnet als *B* und der Abstand so gering, dass der Wirkungskreis des — Pols von *B* von dem des + Pols von *A* grösstentheils umschlossen wird, so fällt das Eisen vom Magnete *B* selbst dann ab, wenn sich der + Pol von *A* (wie in der Figur) darunter befindet.

Fig. 100.



Bei den hufeisenförmigen Magnetstäben, deren Pole durch ein Stück weiches Eisen, durch den sogenannten Anker, verbunden sind, wirkt jeder Pol verstärkend auf die Kraft, womit der andere von dem Eisen angezogen wird. Diese Form der Magnete eignet sich daher vorzugsweise, um ein grosses Tragungsvermögen zu erzielen. Ein Anker von hinlänglichem Umfange, so lange er mit beiden Polen in Berührung steht, vertritt die Stelle eines zweiten Magnets von nahe gleicher Kraft, welcher mit dem ursprünglichen mit verkehrten Polen verbunden ist. Hufeisenmagnete mit angelegtem Anker besitzen daher eine äusserst geringe Wirksamkeit in die Ferne. Die ganze Kraft eines Magnets kann jedoch durch den Anker niemals gebunden werden, weil dies voraussetzte, dass die Wirkungskreise beider Pole des Magnets je mit denen der ungleichnamigen Pole des Ankers ganz zusammenfielen, d. h. einerlei Mittelpuncte besässen, was doch unmöglich ist.

288. Wenn ein Pol des Magnets *A* (Fig. 98) dem ungleichnamigen des schwächeren Magnets *B* näher kommt, als erforderlich ist, um die in dem letzteren vorhandne freie magnetische Kraft zu binden, so erfolgt eine Zunahme in der Entwicklung der Polarität von *B*. Die im ungleichnamigen Pole neu entwickelte Kraft wird gleich der früher vorhandnen gebunden, die im gleichnamigen Pole neu entstandene gelangt zur freien Wirksamkeit.

Die Kraft eines Magnets wird also durch Anreihen eines zweiten mit gleichgerichteten Polen immer verstärkt. Die hierdurch gewonnene Kraftvermehrung kann aber nie die Summe der Kräfte beider Magnete erreichen.

Nur so lange, als Stahlstangen noch nicht bis zu dem Grade magnetisch sind, der ihrer Coërcitivkraft entspricht, kann diese einer weiteren Entwicklung ihrer Polarität Widerstand leisten. Ist aber ein Magnet bis zur Gränze seiner Coërcitivkraft polarisch gewor-

den, ist er mit Magnetismus gesättigt, so verhält er sich unter dem Einflusse stärkerer Magnete ähnlich wie das Schmiede-Eisen. D. h. er kann alsdann mit Leichtigkeit eine stärkere Polarität annehmen, verliert sie aber auch eben so leicht wieder. Magnetische Stahlstangen, die mehr Magnetismus angenommen haben, als sie durch ihre Coërcitivkraft allein behaupten können, nennt man übersättigte Magnete.

Hufeisenmagnete mit anhaftendem Anker können sehr leicht übersättigt werden. Durch den Einfluss des Ankers tritt nämlich der grösste Theil der in einem Magnete entwickelten Kraft in den gebundenen Zustand. Durch fortgesetztes Streichen mittelst eines zweiten Magnets von genügender Stärke lässt sich daher die Kraft beider Pole des ersteren so lange steigern, bis das Uebergewicht der nicht gebundenen magnetischen Kraft derjenigen gleichkommt, die der Magnet zu Folge seiner Coërcitivkraft allein, also ohne Mitwirkung des Ankers, bleibend erhalten kann. Reisst man den Anker mit Gewalt ab, so verschwindet aller über den Sättigungspunct hinaus erzeugte und nur unter dem Einfluss des weichen Eisens gefesselte Magnetismus.

Das Streben eines jeden Magnetpols, die Polarität anderer, insbesondere schwächerer Magnete, die innerhalb ihres Wirkungskreises gelangen, stärker und selbst bis zur Uebersättigung zu entwickeln, gibt bei vergleichenden Untersuchungen über die Stärke bleibender magnetischer Thätigkeit sehr leicht Veranlassung zu Fehlern. Eine Magnetnadel z. B., die vor dem Pole eines sehr starken Magnets (übrigens unter ähnlichen Bedingungen, wie die im Paragraph 283 hervorgehobenen) in einem Abstande von 6 — 8 Zoll eine gewisse Anzahl Schwingungen macht, wird, näher gebracht, rascher schwingen, als es nach dem Gesetze des Quadrats der Entfernung geschehen dürfte, weil bei der grösseren Nähe ihre eigene magnetische Kraft zugenommen hat.

Nadeln, deren magnetisches Verhalten unverändert bleiben soll, dürfen daher keinem Magnete von sehr grosser Wirksamkeit nahe gebracht werden; sie müssen ferner von sehr hartem Stahle verfertigt und nur schwach, jedenfalls nicht bis zur Sättigung magnetisirt seyn.

Stahl, den man aus dem Kirschroth-Glühen gehärtet hat, besitzt die grösste Coërcitivkraft und eignet sich desshalb sehr gut für kleine Magnetnadeln. In grösseren Stücken hält es aber schwer, solchen glasharten Stahl bis zur Sättigung zu magnetisiren. Zu grösseren Magneten, namentlich den Hufeisen-Magneten, wählt man desshalb gewöhnlich einen weniger stark gehärteten oder durch Anlassen über Kohlenfeuer theilweise wieder enthärteten Stahl.

289. Zur Erklärung der Erscheinungen der magnetischen Anziehung und Abstossung nimmt man an, dass die materiellen Theile eines jeden Magnets Träger von zwei Kräften sind, deren jede, für sich betrachtet, sich dadurch charakterisirt, dass die damit behafteten Theile einander abstossen. Man nennt sie positive und negative magnetische Kraft (man sagt auch: der positive und negative Magnetismus), weil sie in ihren wechselseitigen Beziehungen einander entgegengesetzt sind. Sie wirken anziehend auf einander und treten, wenn beide in ein und demselben Puncte in solchen Verhältnissen vorhanden sind, dass jede, für sich genommen, Wirkungen von gleicher Grösse hervorbringen müsste, in einen Zustand des vollkommensten Gleichgewichtes, welcher der natürliche magnetische Zustand genannt wird. Ihre wechselseitige Anziehung erstreckt sich auch auf die Ferne, jedoch mit abnehmender Stärke (283).

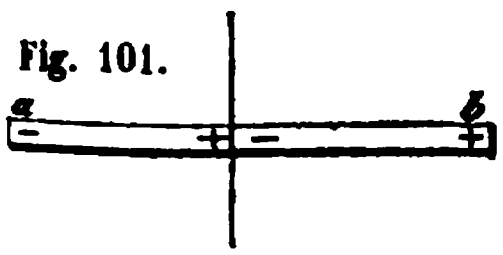
Um daher den Wirkungen der einen aus der Entfernung das Gleichgewicht zu setzen, ist stets ein, je nach der Grösse des Abstandes, mehr oder weniger grosses Uebergewicht der andern erforderlich. Dies ist der Zustand der Bindung, der also niemals einem vollkommenen Gleichgewichtszustande beider Principe entsprechen kann.

In jedem Magnete ist der natürliche magnetische Zustand gestört, in der Weise, dass die positive magnetische Kraft auf der Seite des + Pols, die negative auf der Seite des — Pols vorwaltet. Die Coërcitivkraft widersetzt sich der gegenseitigen Anziehung der beiden getrennten Kräfte und verhindert dadurch die Herstellung des Gleichgewichtszustandes.

In dem unmagnetischen Eisen sind ebenfalls beide Kräfte vorhanden, aber überall im natürlichen oder Gleichgewichtszustande. Kommt das Eisen in die Wirkungssphäre eines Magnetpols, so werden diejenigen Theile seiner Masse, welche die Träger der gleichnamigen magnetischen Kraft sind, abgestossen, diejenigen, an welchen die ungleichnamige Kraft haftet, angezogen und dadurch beide Kräfte, ähnlich wie in dem Magnete selbst und auch nach derselben Richtung getrennt oder vertheilt.

290. Wenn man einen Magnetstab von beliebiger Grösse in der Mitte durchschneidet, so werden die scheinbar auf beiden Seiten der Mittellinie vertheilten entgegengesetzten Kräfte nicht getrennt, sondern es entstehen dadurch zwei Magnete, jeder mit zwei Polen, und zwar bildet sich an der Seite des Durchschnitts gegen den + Pol hin ein — Pol, an der andern Seite ein + Pol. Werden beide Stücke wieder zusammengerückt, so verschwinden die neu entstandenen Pole und man erhält wieder, wie früher, einen einzigen Magnet mit zwei Polen. Kehrt man beide Stücke um und bringt man die Flächen *a* und *b* (Fig. 101) in Berührung, so verschwinden die ursprünglichen Pole und die neu entstandenen treten an ihre Stelle. Die in Folge der Zertheilung des Magnets an der Trennungsfläche zum Vorschein gekommenen magnetischen Kräfte sind also nicht erst im Augenblicke der Trennung erzeugt worden. Sie waren schon vorher da, aber gerade in dem Verhältnisse, um einander in ihren Wirkungen nach Aussen vollständig aufzuheben.

Fig. 101.



Ein Magnet, wo immer man denselben zerschneiden mag, zerfällt stets in zwei Magnete. Wollte man als Durchschnittsstelle einen der Pole selbst wählen, gleichwohl würde auf der einen Seite des Schnitts ein + Pol, auf der andern ein — Pol zum Vorschein kommen. Kurz, jeder Abschnitt eines Magnets, so klein er auch seyn mag, zeigt für sich wieder magnetische Polarität.

Weder die eine noch die andere der beiden magnetischen Kräfte

hat also ihren Sitz ausschliesslich oder auch nur vorzugsweise auf der Seite des gleichnamigen Pols. Beide müssen vielmehr gleichzeitig nicht nur auf den zwei Seiten der Mittellinie, sondern sogar in jedem noch so kleinen ablösbaren Theile vorhanden seyn. Man wird hierdurch zu der Vorstellung berechtigt, dass die kleinsten Theile, dass die Atome eines Magnets magnetische Polarität besitzen.

Auf dieselbe Art lässt sich der Beweis führen, dass ein beliebig gewähltes, soeben erst magnetisch gewordenes Stück Eisen, z. B. eine magnetisirte Stahlfeder, ja dass das nur vorübergehend magnetische Schmiede-Eisen an allen Puncten zugleich positiven und negativen Magnetismus enthalten muss. Also der Magnetismus, wo er überhaupt auftreten mag, scheint nur auf einer Polarität der Atome zu beruhen.

Nach dem gegenwärtigen Standpuncte unserer Kenntnisse in der Lehre des Magnetismus kann man als völlig ausgemacht ansehen, dass die magnetische Polarität der Atome die nächste Ursache der magnetischen Erscheinungen ist. Ungewiss bleibt aber noch, ob diese Polarität etwas ursprünglich Vorhandnes, oder nicht selbst erst durch eine Aenderung in der inneren Beschaffenheit der Atome hervorgebracht wird. Früher suchte man nämlich allgemein die magnetischen Erscheinungen aus dem Daseyn eines gewichtslosen Fluidums zu erklären, das sich in jedem Körper, der magnetisch werden kann, vorfindet und das man als den eigentlichen Träger der magnetischen Kraft sich vorstellte. Dieses Fluidum ist aus zwei Bestandtheilen, dem positiven und negativen Magneticum zusammengesetzt, die sich in dieser ihrer Verbindung, als völlig wirkungslos, durch keine Aeusserung der Thätigkeit zu erkennen geben. Trennen sie sich aber aus irgend welchem Grunde und sammeln sie sich einzeln an verschiedenen Puncten eines wägbaren Stoffs, so erscheint dieser magnetisch polarisch. Um die Vorstellung von dem Daseyn eines magnetischen Fluidums ferner beibehalten zu können, muss man damit die Annahme verknüpfen, dass die Vertheilung des in einem jeden wägbaren Atome enthaltenen neutralen Magneticums, so wie die erwähnte Bewegung seiner Bestandtheile auf die Gränze der Atome selbst beschränkt ist.

Geht man dagegen von der Ansicht aus, dass die magnetische Polarität eine wesentliche und bleibende Eigenschaft der Atome aller Körper sey, die magnetisch sind, oder werden können, so kann die magnetische Vertheilung in nichts Anderem bestehen, als in einer gewissen Richtung, die den Atomen durch irgend welche Ursache verliehen wird; die Richtung nämlich, in welcher die Atome mit ihren ungleichnamigen Polen an einander gereihet sind. Die Coërcitivkraft erklärt sich in diesem Falle als eine unvollkommene Beweglichkeit der Theile, wodurch eine Aenderung derjenigen Lage, worin sich z. B. die kleinsten Theile einer gehärteten Stahlstange gerade befinden, erschwert wird.

291. Da sich der Magnetismus von den materiellen Theilen, an welchen er haftet, nicht trennen oder auf andere übertragen lässt, da gleichwohl das weiche Eisen beliebig oft magnetisch gemacht werden und die in ihm erregte Wirksamkeit wieder verlieren kann, so müssen beide magnetischen Kräfte in jedem Atome in einem solchen Verhältnisse vorhanden seyn, um sich wechselseitig das Gleichgewicht halten zu können. Hierdurch erklärt sich, dass jedes einzelne Atom, selbst wenn man es als ursprünglich polarisch voraussetzt, unfähig ist, magnetische Wirkungen auf messbare Entfernungen hin zu erzeugen.

Durch die Kraft eines von Aussen her wirkenden Magnetpols werden die gleichnamigen Pole der Atome abgestossen, die ungleichnamigen angezogen, wodurch diese kleinen Magnete gezwungen sind, sich in der Ordnung, wie Fig. 102 zeigt und wie man es beim Durchschneiden eines Magnets in kleinere Stücke wahrnimmt, nämlich mit gleichgerichteten Polen an einander zu reihen,

Fig. 102.

mehr oder weniger vollständig, je nach der Stärke der äusseren Einwirkung. Ein anderer Einfluss von Aussen ist mit Rücksicht auf die vorhergehenden Thatsachen nicht denkbar. Auch genügt er, um daraus die wahrnehmbare magnetische Polarität zu erklären.

Angenommen, eine Anzahl kleiner gesättigter Stahlmagnete, alle von gleicher Grösse und gleicher magnetischer Kraft, werden mit gleichgerichteten Polen aneinandergereiht, so gelangt jeder derselben unter den Einfluss aller übrigen, und durch diese wechselseitigen Einwirkungen kommen die in jedem der kleinen Magnete haftenden, entgegengesetzten Kräfte zu einem Grade der Vertheilung, der durch die Coërcitivkraft allein nicht erhalten werden könnte. Das erste Glied der Reihe m_I (Fig. 102) steht hauptsächlich unter dem Einflusse des zunächst liegenden Pols von m_{II} und mit abnehmender Stärke unter dem der folgenden entfernteren Glieder m_{III}, m_{IV} u. s. w. bis zum letzten Elemente m_n. Die Vertheilung der Kräfte des kleinen Magnets m_I ist diesen gemeinschaftlichen Einflüssen und der schon früher durch seine Coërcitivkraft allein erhaltenen Polarität entsprechend. Auf das folgende Glied m_{II} wirken dieselben Kräfte, aber da m_{II} von m_I weit weniger entfernt liegt, als m_I vom letzten Gliede m_{II} der Reihe, so muss die magnetische Polarität von m_{II} mehr entwickelt werden als die von m_I. In m_{III} findet eine noch vollständigere Vertheilung statt, weil auf dieses Glied wieder eben so viele Kräfte wie auf die vorhergehenden einwirken, aber m_I demselben näher liegt, als m_{III} an m_{II}. Im Allgemeinen müssen also die vertheilten magnetischen Kräfte des zweiten Elementes der Reihe die des ersten, die vertheilten Kräfte des dritten Elementes die des zweiten überwiegen u. s. w. bis zum mittelsten Elemente, in welchem beide Kräfte vollständiger als in allen übrigen entfaltet sind. Da nun nach Voraussetzung jedes Glied das ihm vorhergehende so wie das darauf folgende, je mit seinen ungleichnamigen Polen berührt, so folgt, dass die positive Kraft des mittelsten Elementes (des dritten in der Figur) die negative des vorhergehenden, und die negative des mittelsten Elementes die positive des folgenden (in der Figur des vierten) bindet, aber nur zum Theile wieder gebunden wird. In gleicher Weise bindet die positive Kraft des zweiten Elementes die negative Kraft des ersten, die negative des vierten Elementes die positive des fünften, ohne vollständig wieder gebunden zu werden. So kommt es, dass auf der einen Hälfte der Reihe aller — Magnetismus in den gebundenen Zustand gelangt, der + Magnetismus hingegen vorwaltend erscheint, und dass auf der andern Hälfte gerade das umgekehrte Verhältniss eintritt.

Im ersten Elemente kommt alle überhaupt im Zustande der Vertheilung befindliche + magnetische Kraft als freier Magnetismus zum Vorschein; im zweiten Elemente nur der Unterschied + ($m_I - m_I$); im dritten Elemente nur der Unterschied + ($m_{III} - m_{II}$) u. s. w. Der Unterschied + ($m_{II} - m^I$) ist das Resultat des vertheilenden Einflusses des ersten auf das zweite Element und muss folglich kleiner seyn als + m_I (288). Der Unterschied + ($m_{III} - m_{II}$) ist das Resultat des vertheilenden Einflusses des ersten auf das dritte Glied; er kann nicht so gross seyn als + ($m_{II} - m_I$), weil das erste Element dem zweiten weit näher liegt als dem dritten. Derselbe Schluss lässt sich auf die

folgenden Elemente fortsetzen. Die freie magnetische Wirksamkeit muss also von den Enden nach der Mitte hin abnehmen und in der Mitte selbst Null werden.

Jeder fertige Magnetstab besteht aus einer grossen Anzahl neben einander liegender Reihen solcher magnetischer Elemente. An den Enden des Magnets muss also, gleich wie an den Enden jeder einzelnen Reihe von Elementen, woraus er zusammengesetzt ist, die magnetische Thätigkeit am stärksten entfaltet seyn.

Die gleichartigen Kräfte auf einer Seite eines Magnets unterstützen sich in ihrer Wirksamkeit nach Aussen. Der gleichnamige Pol ist derjenige Punct, durch welchen ihre Mittlere oder Resultirende geht. Die Pole können folglich nicht an den äussersten Enden der Magnete liegen, aber man sieht zugleich, warum sie den Enden weit näher liegen müssen als der Mitte.

Coulomb hat die Vertheilung des freien Magnetismus in dünnen und ohne Zwischenpole bis zur Sättigung magnetisirten Stahlstäben einer scharfen experimentellen Prüfung unterworfen (Biot traité de phys. III, 70). Er fand, dass die Intensität des freien Magnetismus von den äussersten Enden an, wo sie am grössten ist, bis zu einem Abstande von ungefähr drei Zoll rasch, von da an aber sehr allmählig und fast gleichförmig abnimmt.

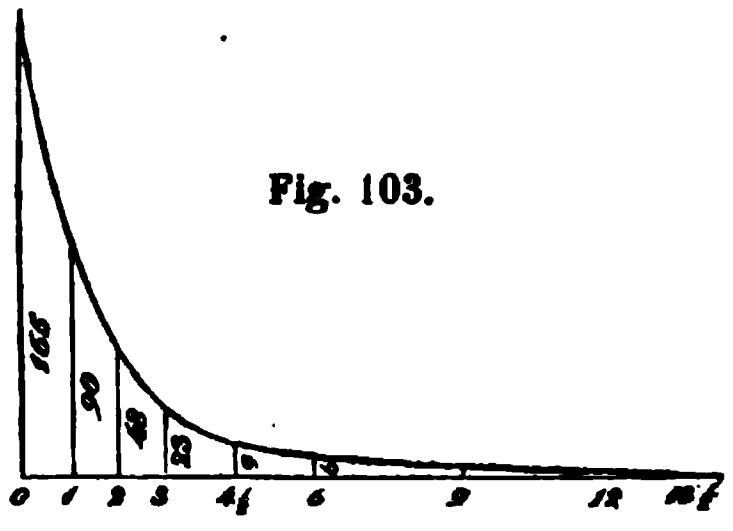


Fig. 103.

Das Gesetz dieser Abnahme wird anschaulich durch die in Figur 103 dargestellte (aus Biot's traité de phys. entlehnte) Intensitätscurve, bei welcher die Intensitäten, nach ihren relativen Grössen, in verschiedenen Abständen vom einen Ende eines magnetisirten Stahldrahts von 27 Zoll Länge und 2 Linien Durchmesser auf den entsprechenden Abscissen als Ordinaten aufgetragen sind. Die Krümmung dieser Curve ist an beiden Enden des Magnets gleich.

Die Länge eines Magnetstabs, in so fern sie nur 6—7 Zoll übersteigt, hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Intensität der an seinen Enden vertheilten Kräfte, dergestalt dass die Stärke des freien Magnetismus vom äussersten Ende bis zu 3 Zoll Entfernung hin fast unverändert blieb, wenn der magnetisirte Stahldraht allmählig verkürzt wurde. Ueber diese Gränze hinaus gegen die Mitte hin wird die freie magnetische Kraft bei allen regelmässig magnetisirten Stahlstäben sehr schwach. Ganz und gar verschwindet sie jedoch nur in der Mitte.

292. Da die Kraft der Magnete nicht bloss in den Polen ihren Sitz hat, da vielmehr alle Theile der Masse zur Grösse dieser Wirksamkeit beitragen können, so beruht das zweckmässigste Verfahren, eine Stahlstange magnetisch zu machen, wesentlich darauf, dass so viel irgend möglich die magnetische Vertheilung in allen Puncten der Stahlmasse und gleichmässig bewerkstelligt werde.

Durch die blosse Annäherung eines Magnets kann dieser Zweck nicht vollständig erreicht werden, weil die vertheilende Kraft auf die entlegneren Puncte der Stahlmasse offenbar nicht mit derselben Stärke als auf die näher liegenden einwirken kann. Dieses Verfahren ist daher nur bei kleinen Magnetnadeln anwendbar.

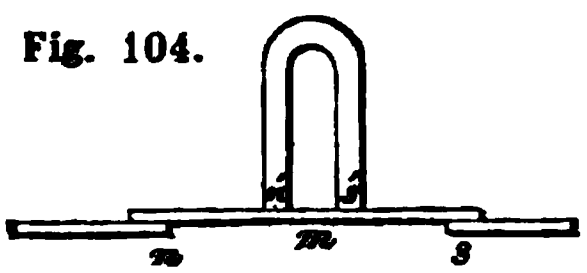
Ein besserer Erfolg lässt sich erwarten, wenn man einen Pol des fertigen Magnets auf dem einen Ende des noch nicht magnetischen Stahls aufsetzt und der Oberfläche entlang nach dem andern Ende (am besten unter einem Winkel von 15—20°. Biot

traité III, 59) hinstreicht. In diesem Falle werden nach und nach alle Partikeln der Stahlmasse gleichmässig in Bewegung gesetzt, ihre ungleichnamigen Pole kehren sich gegen den Magnet, ihre gleichnamigen wenden sich von demselben ab. An dem Ende der Stange, womit der Magnetpol zuletzt in Berührung war, muss folglich ein ungleichnamiger Pol, an dem entgegengesetzten der gleichnamige entstehen.

Durch diese Behandlungsweise, auch wenn sie mehrmals immer in demselben Sinne wiederholt wird, können jedoch nur dünne Stahlstreifen von weniger als ½ Linie Dicke (z. B. Uhrfedern) bis zur Sättigung magnetisirt werden. Ueberdiess gibt sie leicht die Veranlassung zur Bildung von Zwischenpolen, namentlich bei längeren Stahlstäben. Solche Zwischenpole entstehen jedesmal an denjenigen Stellen, an welchen der streichende Magnet länger als an andern verweilt hat.

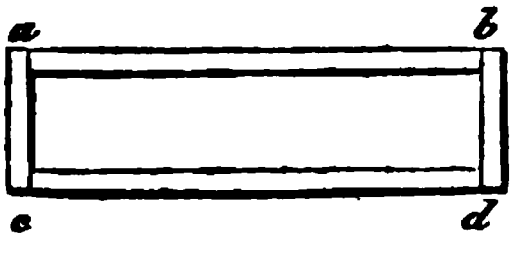
Das wirksamste Hülfsmittel, um dickere Stahlstäbe vollständig zu magnetisiren, ist der sogenannte Doppelstrich. Man legt beide Enden des Stabs auf die entgegengesetzten Pole zweier starken Magnete (Fig. 104). Ein Hufeisenmagnet wird dann in der Mitte des Stabs aufgesetzt, gleichmässig nach dem einen und andern Ende hin und her bewegt und endlich wieder aus der Mitte lothrecht abgehoben. Während dieses Verfahrens werden die magnetischen Kräfte eines jeden zwischen die Pole n' und s' gelangenden Stahltheilchens vollständiger aufgeregt, als diess gleichzeitig bei allen ausserhalb liegenden Theilen geschehen kann, und dieser Unterschied ist um so bedeutender, je näher die Pole n' und s' zusammenstehen. Die magnetischen Kräfte des Stahlstabs werden also in jedem Augenblicke der Hin- und Herbewegung des Hufeisenmagnets vorzugsweise nur nach einer Richtung vertheilt. Da sie nun in dieser Richtung durch die Einwirkung der Pole n und s sogleich gebunden werden, so kann eine neue Aufregung anderer, noch nicht vertheilter Kräfte eintreten, so lange bis die ganze bindende Kraft der starken Magnete n und s gesättigt ist.

Fig. 104.



Verwandt mit diesem Verfahren, wiewohl nicht ganz so wirksam, ist das folgende: Zwei gleichlange Stahlstäbe werden gleichlaufend neben einander gelegt und ihre Enden durch kleine Stücke Schmiede-Eisen verbunden, so dass sie ein Parallelogramm bilden (Fig. 105). Der eine Pol eines Hufeisenmagnets wird dann auf dem Puncte a des einen Stabs, der andere Pol auf dem Puncte c des andern Stabs aufgesetzt und gleichzeitig der Oberfläche beider Stäbe entlang bis an das andere Ende gestrichen;

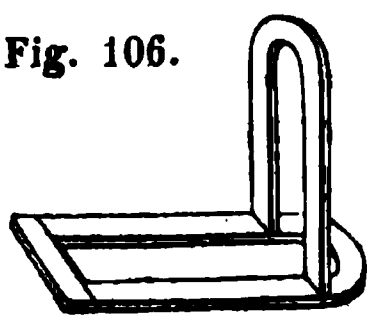
Fig. 105.



zurück streicht man dann mit den umgekehrten Polen u. s. f. Die hierdurch in dem Stahle entwickelten Kräfte werden je durch die ungleichnamigen Kräfte, die sie im weichen Eisen hervorrufen, gebunden, und auf diese Weise die Möglichkeit gegeben, einen weit höhern Grad der Vertheilung hervorzubringen, als durch das Streichen mit dem Hufeisenmagnete allein hätte bewirkt werden können.

Um einen hufeisenförmigen Stahlstab mittelst eines Hufeisenmagnets zu magnetisiren, setzt man die Pole des letzteren auf der Biegung des ersteren auf und streicht von hier aus bis über die Enden desselben hinaus. Der Streichmagnet wird dann, ohne das Hufeisen zu berühren, nach der Biegung zurückgebracht und dieselbe Operation so oft wiederholt, als dadurch etwas gewonnen werden kann. Beide Enden des Hufeisens müssen dabei stets mit einem Anker verbunden bleiben. Das Streichen muss nicht im umgekehrten Sinne, nämlich von den Enden nach der Biegung hin, welche die Mitte des neu zu bildenden Magnets vorstellt, bewerkstelligt werden, weil sonst an der Biegung ebenfalls Pole entstehen würden.

Fig. 106.



Coulomb empfiehlt, zur Verfertigung von künstlichen Magneten keine Stahlstäbe von mehr als 2—3 Linien Dicke zu verwenden; weil er gefunden hatte, dass zwei gleiche Stäbe von dieser Dicke, jeder so stark wie möglich magnetisirt und dann mit ihren gleichnamigen Polen verbunden, weit wirksamer, als ein einziger Stab, der so dick als beide zusammen und ebenfalls so stark wie möglich magnetisirt war.

Durch Erwärmen vermindert sich die Stärke der Magnete; z. B. als Magnetnadeln aufgehängt, zeigen sie, nachdem sie einer höhern Temperatur ausgesetzt worden waren, eine Abnahme ihrer Richtkraft, d. h. sie machen in gleicher Zeit eine geringere Anzahl Schwingungen als vorher. Ein Stahlmagnet den man unter einem rechten Winkel gegen den magnetischen Meridian bis zum Hell-Roth-Glühen erhitzt und dann in derselben Lage wieder erkalten lässt, verliert seine Polarität bis zur letzten Spur.

Eine Zeit lang hat man geglaubt, dass die Lichtstrahlen eine magnetisch polarisirende Kraft besässen. Mit Sorgfalt angestellte Versuche von Riess und Moser, so wie auch von Seebeck haben jedoch gezeigt, dass jene Ansicht auf einem Irrthum beruht.

Erscheinungen der electrischen Anziehung und Abstossung.

293. Jeder Körper kann unter gewissen Bedingungen die Eigenschaft annehmen, beliebige andere, leichte oder doch leicht bewegliche Körper schon aus einiger Entfernung anzuziehen und nach erfolgter Berührung sie wieder abzustossen. Körper, welche diese Eigenschaft besitzen, nennt man electrisch; die Eigenschaft selbst, Electricität.

Es gibt verschiedene Mittel einen Körper electrisch zu machen, das einfachste und am längsten bekannte ist Reibung.

Eine Siegellackstange oder ein trocknes Glasrohr oder auch eine Scheibe von Metall, die man an einer mit Schellack überzognen Handhabe festhält, werde mit trocknem Wollenzeug oder mit Katzenpelz gerieben, so zieht sie leichte Dinge wie Papierschnitzel oder kleine Stückchen Flittergold so stark an, dass ihr dieselben schon aus einiger Entfernung entgegenspringen. Zum Theile bleiben sie daran hängen, zum Theile werden sie sogleich wieder abgestossen. Noch empfindlicher gegen die electrische Anziehung ist eine kleine höchstens $1\frac{1}{2}$ Linien dicke Kugel von Hollundermark, welche an einem Linnenfaden wie ein Pendel frei aufgehängt ist. Um auch die electrische Abstossung zu beobachten, muss man das Hollundermarkkügelchen an einem Seidenfaden befestigen; es wird dann bei der Annäherung des electrischen Körpers, am besten der geriebenen Metallscheibe angezogen und sucht allen Bewegungen derselben zu folgen. Nachdem aber die Berührung stattgefunden hat, scheint es dieselbe zu fliehen. Durch die Abstossung nach erfolgter Berührung unterscheidet sich der electrische Zustand sogleich wesentlich von dem magnetischen.

Die Electricität als Eigenschaft einiger Körper, insbesondere der Harze, war schon den Alten bekannt; der Name wird von dem Worte ἤλεκτρον (Bernstein) abgeleitet.

294. Der electrische Zustand ist bei den meisten Körpern nur von geringer Beständigkeit. Schellack gehört zu denen, bei welchen er sich am längsten erhält. Metalle verlieren ihn am leichtesten. Sein Auftreten oder Verschwinden hat übrigens nicht den geringsten sinnlich wahrnehmbaren Einfluss auf ihre sonstige Beschaffenheit: Gewicht, Festigkeit, Grösse, Farbe u. s. w. Man hat daher den electrischen Zustand von der Gegenwart eines eigenthümlichen, sehr feinen, flüchtigen und gewichtlosen Stoffes abgeleitet, welcher die Poren der Körper durchdringt, sich übrigens von dem Wärmestoff (42) durch seine Unfähigkeit, auf die Atome der wägbaren Materie unmittelbar einzuwirken, wesentlich unterscheidet. Der Name Electricität, der ursprünglich nur eine Eigenschaft bezeichnete, ist auf diesen hypothetischen Stoff übertragen worden.

295. Schellack oder Siegellack, auch trocknes Glas, werden nur an den Stellen electrisch, wo man sie reibt. Wird electrisch gewordenes Schellack mit dem Finger berührt, so verliert sich nur an der Berührungsstelle der electrische Zustand. Um das Harz in den gewöhnlichen Zustand zurückzuführen, muss man daher mit dem Finger über seine ganze Oberfläche hinfahren.

Einer electrischen Metallplatte, die man, gleichgültig an welcher Stelle, mit dem Finger berührt, wird der electrische Zustand sogleich vollständig entzogen. Es ist daher unmöglich, Metalle zu electrisiren, während man sie mit blossen Fingern hält. Fasst man sie aber an Handhaben von Schellack oder von Glas, das mit Schellackfirniss stark überzogen ist, so können sie durch Reiben mit trocknem oder zuvor erwärmtem Pelzwerk eben so leicht wie das Harz electrisirt werden.

Metalle, wenn man sie auch nur an einer einzigen Stelle ihrer Oberfläche reibt, werden gleichwohl allenthalben electrisch. Berührt man einen electrisirten Metallkörper mit einem andern noch

nicht electrischen, der aber ebenfalls an einer Schellackhandhabe gehalten wird, oder auf einem derartigen Fusse steht, so nimmt auch dieser den electrischen Zustand an, jedoch nicht ohne dass der erstere von der Kraft, womit er vorher das Höllundermarkpendel anzog, eingebüsst hat. Man muss hieraus schliessen, dass die electrische Flüssigkeit von dem einen Metallkörper auf den andern übergetreten ist.

Die Fähigkeit der Electricität, sich über alle Puncte der Oberfläche eines Metalles und selbst mehrerer in Berührung stehender Metallstücke zu verbreiten, erklärt man aus der Eigenschaft ihrer kleinsten Theile, einander abzustossen, und indem man sich vorstellt, dass die Poren der Metalle der bewegten electrischen Flüssigkeit verhältnissmässig zur Feinheit ihrer Theile gleichsam weite Oeffnungen oder Kanäle darbieten. Man muss annehmen, dass Harz, Glas und andere Körper, in deren Raum die Electricität weniger leicht eindringen kann, in Folge ihrer besonderen Structur, die für eine rasche Fortpflanzung der electrischen Flüssigkeit geeigneten Kanäle nicht besitzen, wenn schon sie an und für sich nicht unfähig sind, dieselbe in ihren Poren aufzunehmen.

296. Die Metalle und andere Körper, durch welche sich die Electricität leicht fortpflanzt, nennt man Leiter derselben. Körper, welche sich mehr wie das Schellack verhalten, werden Nichtleiter, oder richtiger schlechte Leiter genannt.

Zu den Leitern der Electricität gehören unter andern: die Kohle, der menschliche Körper, das Wasser, feuchtes und selbst unvollkommen getrocknetes Holz, Papier, Hollundermark, feuchtes Erdreich.

Zu den schlechten Leitern, trockne atmosphärische Luft, Schwefel, Seide, Wolle, Haare, ganz trocknes Holz.

Dass trockne Luft ein schlechter Leiter sey, geht daraus hervor, weil ein davon umgebener Körper im electrischen Zustande bleiben kann. In feuchter Luft dagegen verlieren alle Körper, selbst die Nichtleiter, sehr bald ihre electrische Beschaffenheit. Der Grund dieses Verhaltens ist indessen nicht sowohl darin zu suchen, weil die Luft durch Aufnahme von Wassergas leitender werde, sondern weil alle festen Körper, die einen mehr, die andern weniger, die Eigenschaft besitzen, das Wasser aus der Luft anzuziehen und auf ihrer Oberfläche zu verdichten. In feuchter Luft werden sie daher in mehr oder weniger gute Leiter verwandelt. Holz besitzt diese Eigenschaft bekanntlich in sehr hohem, Glas und Seide in ziemlich bemerkbarem Grade. Diese Körper können daher in feuchter Luft die Electricität nicht zurückhalten. Das Holz insbesondere zeigt sich nur in künstlich getrockneter Luft als ein Nichtleiter. Fette und Harze, insbesondere Schellack, gehören zu den am wenigsten hygroscopischen Stoffen und halten daher die Electricität unter allen schlechten Leitern am besten zurück. Glasstangen ohne Höhlung, so dass im Innern nichts abgeleitet werden kann, die ausserhalb mit Schellackfirniss oder besser mit dem Harze selbst überzogen sind, nähern sich in ihrer nichtleitenden Beschaffenheit dem reinen Schellack. In Zimmern (Auditorien) vermeidet man den bei electrischen Untersuchungen lästigen Einfluss der Luftfeuchtigkeit am besten durch häufigen Luftwechsel, und indem man die einen electrischen Körper umgebende Luft durch mässiges Erwärmen relativ trocken macht.

297. Wird ein electrisirter Leiter mit andern noch nicht electrischen in Berührung gesetzt, so strebt die electrische Flüssigkeit vermöge der abstossenden Kraft (Repulsionskraft) ihrer Theile, sich über das ganze leitende System zu verbreiten. In dem Maasse, als diess geschieht, nimmt ihre Dichtigkeit ab. Verbindet man den electrisirten Leiter mit dem Erdboden, so muss die vorhandne Electricität, indem sie sich über diesen Leiter von verhältnissmässig unendlich grossem Umfange ausbreitet, sich bis ins Unendliche verdünnen; d. h. der electrische Zustand verschwindet. Aus diesem Grunde können Leiter, die in leitendem Zusammenhange mit der Erde stehen, nicht electrisch gemacht werden.

Ein Leiter der Electricität, der nur von schlecht leitenden Stoffen umgeben und dadurch von jeder unmittelbaren Verbindung mit andern Leitern getrennt ist, heisst isolirt. Isolirte Leiter können den ihnen ertheilten electrischen Zutsand längere Zeit beibehalten, wenn schon ihre eigne Masse dabei ganz ohne Einfluss ist. Diejenigen Nichtleiter, welche die Fortpflanzung der electrischen Flüssigkeit am meisten hindern und die also vorzugsweise geeignet sind, dieselbe auf den Leitern zurückzuhalten, wie die Luft, das Harz, das Glas, die Seide, nennt man Isolatoren. Es gibt keinen Körper, der ganz und gar unfähig ist, Electricität aufzunehmen und fortzuleiten. Auch die besten Isolatoren müssen daher den ihnen ertheilten electrischen Zustand nach und nach wieder verlieren.

298. Wenn ein Körper, insbesondere ein Leiter der Electricität, den electrischen Zustand in einem schon ziemlich hohen Grade der Stärke angenommen hat, und man demselben irgend einen Gegenstand, am besten wieder einen Leiter nähert, so springt, bevor die Berührung stattgefunden hat, ein knisternder Funke über, der unter günstigen Umständen auch bei Tage sichtbar ist, und welcher, wenn er einen Theil des menschlichen Körpers trifft, eine gewisse schmerzhafte Empfindung bewirkt.

299. Um recht deutliche und starke Funken zu erhalten, ist es nöthig, Leiter von bedeutendem Umfange in den electrischen Zustand zu versetzen. Diess geschieht mittelst grosser Cylinder oder Scheiben von Glas, die auf einem festen Gestelle um ihre Axen gedreht und dadurch an festliegenden Lederkissen, deren Oberfläche gewöhnlich mit Zink-Zinnamalgam bedeckt ist, gerieben werden. Dem Glase ist ein isolirter metallischer Leiter so nahe wie möglich gerückt, wodurch während der Umdrehung fortdauernd ein Theil der Electricität des Glases auf das Metall überströmt und von diesem nach Erforderniss auf andere Leiter übertragen werden kann. Vorrichtungen dieser Art nennt man Electrisirmaschinen. Der dazu gehörige isolirte Leiter führt vorzugsweise den Namen Conductor oder auch wohl erster Conductor.

Ein isolirter Leiter, der mit dem ersten Conductor in leitender Verbindung

steht, verhält sich während des Gangs der Maschine ganz so wie der erste Conductor selbst. Stellt sich z. B. ein Mensch auf einen Stuhl mit Glasfüssen, so kann man, sobald er den Conductor berührt, Funken aus allen Theilen seines Körpers ziehen. Nähert er die eine Hand dem Hollundermark-Pendel, so wird es erst angezogen, dann nach der Berührung abgestossen.

Berührt man den Conductor, ohne selbst isolirt zu seyn, oder hängt man eine bis auf den Boden hinabreichende Kette daran, so kann er in keinem bemerkbaren Grade electrisch werden, weil die ganze Menge der erregten Electricität vermöge ihrer Repulsionskraft sogleich in die Erde abfliesst.

300. Wenn einem mit Electricität behafteten Körper ein Leiter derselben bis zum Ueberschlagen des Funkens genähert wird, so vermindert sich die Kraft, womit er ein Pendel von Hollundermark anzieht, oder nach der Berührung abstösst; der genäherte Leiter, wenn er isolirt war, wird electrisch. Die Erscheinung des Funkens bezeichnet also den Uebergang der Electricität von einem Körper zum andern durch eine nichtleitende Luftschicht.

Man findet, dass der electrische Funke auf die besten Leiter am leichtesten überspringt.

301. Ist die in einem Körper erregte oder demselben mitgetheilte Electricität durch nichtleitende Umgebungen gehindert, sich fortzubewegen, so äussert sich die gegenseitige abstossende Kraft ihrer Theile als Druck. Dieser Druck wird electrische Spannung oder Tension genannt. Die electrische Abstossung wirkt nicht nur bei der Berührung, sondern auch, wiewohl mit abnehmender Stärke, in die Ferne. Theile eines electrischen Körpers, welche in der Richtung dieser gegenseitigen Einwirkung beweglich sind, müssen sich daher, wenn der electrische Druck grösser ist, als der Widerstand ihres Gewichtes, von einander entfernen.

Man befestige z. B. zwei kleine Kugeln von Hollundermark mittelst Linnenfäden oder sehr feiner Metalldrähte dicht neben einander an einem isolirten Leiter. Sobald derselbe electrisch wird, entfernen sie sich aus der lothrechten Lage so weit, bis der Widerstand der Schwere mit der electrischen Spannung im Gleichgewicht steht. Berührt man den Leiter mit einem andern, der ebenfalls isolirt ist, und vermindert man dadurch die Dichtigkeit des vorhandnen electrischen Fluidums, so vermindert sich auch die Divergenz beider Hollundermark-Pendel. Sie kehren ganz in die Ruhelage zurück, wenn der Leiter mit dem Finger berührt wird. Die Grösse der Divergenz beider Pendel gibt also einen Anhalt für die Grösse der electrischen Dichtigkeit und Spannung.

Die electrische Abstossung nach erfolgter Berührung ist ebenfalls eine Wirkung der electrischen Spannung; denn man findet, dass nur solche Körper abgestossen werden, welche bei der Berührung electrisch geworden sind, und dass die Abstossung nur so lange währt, als sie electrisch bleiben.

Man hänge einen leichten, die Electricität leitenden Körper an einen Seidenfaden zwischen zwei Metallscheiben, von welchen die eine in leitender Verbindung mit der Erde steht, die andere isolirt und electrisch ist; so wird er sich

abwechselnd und in rascher Folge bald nach der einen, bald nach der andern Seite begeben und diese Oscillationen so lange fortsetzen, bis von dem isolirten Leiter alle Electricität verschwunden oder doch die Wirkung derselben nicht mehr kräftig genug ist, um das durch die Berührung mit der nicht isolirten Platte von Electricität befreite Pendel von Neuem anzuziehen. — Das electrische Glockenspiel.

Eine kleine Kugel von Schellack, als Pendel aufgehängt, ist zur Anstellung des eben beschriebenen Versuchs untauglich, weil dieses Harz die Electricität eines andern Körpers nicht leicht aufnimmt, noch auch willig ist, das einmal gewonnene wieder abzugeben. Umhüllt man aber die Schellackkugel mit Goldschaum und gibt ihr dadurch eine leitende Oberfläche, so verhält sie sich ähnlich wie eine kleine Kugel von Hollundermark.

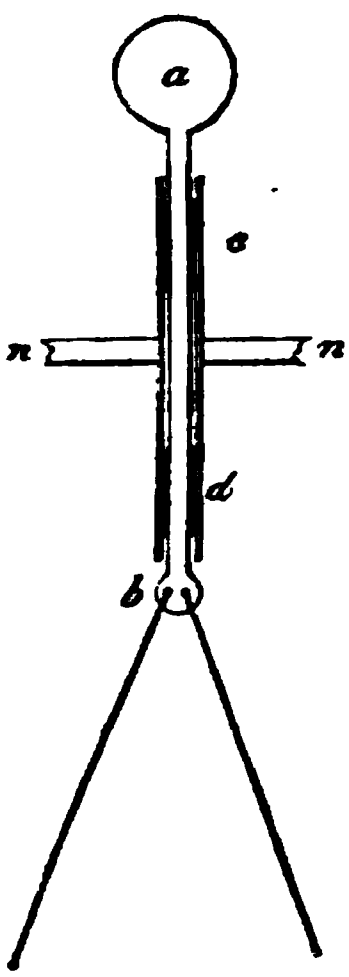
Man bemerkt häufig, dass das Hollundermark-Pendel an geriebenem Harze oder an geriebenem Glase hängen bleibt. Findet jedoch Abstossung statt, so wird man auch immer finden, dass es nach der Berührung mit dem Finger wieder angezogen wird, zum Beweise, dass es Electricität aufgenommen hatte.

302. Das an einem Seidenfaden hängende und dadurch isolirte Hollundermark-Kügelchen ist der einfachste, aber kein besonders empfindlicher Anzeiger electrischer Zustände. Um es, insbesondere für die Einwirkung electrischer Nichtleiter, so empfindlich wie möglich zu machen, wird ihm im Voraus Electricität mitgetheilt.

Geringere Grade der electrischen Spannung entdeckt man durch die Divergenz zweier neben einander hängender und in leitender Verbindung stehender Pendel.

Jedes Werkzeug, geeignet, die Gegenwart der Electricität in einem Körper wahrzunehmen, wird Electroscop (Electricitäts-Anzeiger) genannt. Die gebräuchlichsten electroscopischen Vorrichtungen beruhen auf der wechselseitigen Abstossung zweier leichter Pendel.

Fig. 107.



Die wesentlichen Theile eines Electroscops mit zwei Pendeln sind in Fig. 107 abgebildet. Zwei leichte, die Electricität leitende Pendel sind mittelst äusserst feiner Metalldrähte, die oben hakenförmig umgebogen worden, bei *b* in die Oeffnungen eines dicken, am untern Ende abgeplatteten Drahtes eingehängt und stehen dadurch mit einer Platte oder Kugel *a* von Metall in leitender Verbindung. Empfängt die letztere Electricität, so theilt sich diese den Pendeln mit, wodurch ein gewisser Ausschlag erfolgt.

Um diesen Haupttheil des Electroscops von andern Leitern möglichst abzusondern, wird der Draht mittelst Stöpseln von Kork oder Seide bei *c* und *d* in einem Glasrohr gut befestigt. Weil aber das Glas für sich nicht hinlänglich isolirt, so muss dasselbe inwendig dick gefirnisst und ausserhalb auf wenigstens 3 Zoll Länge mit einem Ueberzug von Schellack versehen werden. In der Mitte der Länge ist eine Fassung von Metall *n n* angekittet, worauf der Ap-

parat während des Gebrauches ruht. Um zufälligen äusseren Einwirkungen zu begegnen, pflegt man ihn bis an die Fassung in einen Glasbehälter einzusenken.

Die Empfindlichkeit eines Electroscops ist neben der Güte seines Isolirungssystems hauptsächlich von der Beschaffenheit der Pendel abhängig. Je nachdem man einen mehr oder weniger hohen Grad von Empfindlichkeit erzielen will, wählt man daher zu den Pendeln Hollundermark-Kügelchen oder Strohhalmen oder schmale Streifen von unächtem oder endlich von ächtem Blattgold. Wo also Empfindlichkeit die Hauptbedingung ist, darf überhaupt nur ächtes Blattgold verwendet werden. Streifen von 2, 5 bis 3 Zoll Länge und etwa $^3/_4$ Linien Breite eignen sich dazu am besten.

Der Gebrauch des Electroscops mit zwei Pendeln ist zuerst von Canton eingeführt und später von Cavallo, Bennet, Volta verbessert worden.

303. Das Hollundermark-Pendel, im Voraus in den electrischen Zustand versetzt, wird nicht von jedem andern electrischen Körper abgestossen. Hatte man es z. B. durch Berührung mit dem ersten Conductor der Maschine electrisirt, so wird es zwar von diesem und auch vom geriebenen Glase abgestossen, von einer geriebenen Siegellackstange dagegen wird es angezogen. Hatte man es durch Berührung mit geriebenem Harze oder einer geriebenen Metallplatte electrisch gemacht, so wird es von dem electrischen Siegellack abgestossen, aber vom electrischen Glase angezogen.

Noch im unelectrischen Zustande befindlich, wird das Hollundermark sowohl vom electrischen Glase wie vom Harze angezogen. Nähert man aber beide electrische Körper gleichzeitig, so findet gar keine Einwirkung statt.

Andere Körper, so viele und so verschiedenartige man durch Reiben in den electrischen Zustand versetzen mag, zeigen sich entweder dem Glase oder dem Harze ähnlich. Ein durch Berührung mit ihm selbst electrisch gemachtes Pendel wird jeder abstossen; wurde aber dem Pendel Electricität schon zuvor mitgetheilt, so wird es von den einen angezogen, von den andern abgestossen werden.

In der Wirksamkeit verschiedener durch Reiben electrisirter Körper findet also ein bestimmter Gegensatz statt, ähnlich dem Gegensatze der beiden magnetischen Kräfte. Man unterscheidet daher einen positiven (+) und negativen (—) electrischen Zustand; und zwar gilt die erstere Bezeichnung für alle, dem des geriebenen Glases ähnliche electrischen Zustände, die andere für alle, dem des geriebenen Siegellacks ähnliche electrische Zustände.

304. Die entgegengesetzte Wirksamkeit des geriebenen Glases und des geriebenen Harzes erklärt man durch die Annahme von zwei electrischen Flüssigkeiten, der positiven Electricität ($+\varepsilon$), und negativen Electricität ($-\varepsilon$), die, wenn auch, jede für sich betrachtet, ganz gleich in ihrem Verhalten, ihrem

Wesen nach verschiedenartig sind. Sie besitzen die Eigenschaft, einander schon aus der Entfernung anzuziehen und wirken dadurch dem Repulsionsvermögen jeder einzelnen gegen sich selbst entgegen. Können sie zu einander übertreten, so verbinden sie sich in einem bestimmten Verhältnisse, und bilden dadurch einen für unsere Sinne völlig unwahrnehmbaren Gleichgewichtszustand. Das Verhältniss, in welchem beide in dieser Verbindung (dem neutralen Electricum) enthalten sind, ist erfahrungsmässig bestimmt durch eine gleichstarke Spannung, z. B. durch gleiche Divergenz zweier Strohhalm-Pendel, bewirkt durch jede der beiden Flüssigkeiten, wenn sie über gleichartige und gleichgrosse leitende Systeme verbreitet sind. War die eine oder die andere im Ueberschuss vorhanden, so bleibt sie mit sichtbarer Spannung zurück.

Man nehme zwei Electroscope mit Pendeln von Strohhalmen und auch sonst ganz gleicher Einrichtung und Grösse. Die Metallplatte des einen werde durch Reiben mit Pelz electrisirt. Dem andern theile man die Electricität des ersten Conductors mit, so lange bis die Pendel in beiden Instrumenten denselben Ausschlag zeigen. Die in beiden angesammelten Electricitäten äussern also gleiche Grade der Spannung, aber auf dem einen befindet sich nur positive, auf dem andern nur negative Electricität. Jetzt verbinde man beide Metallplatten vermittelst eines dünnen, isolirten Metalldrahts. Sogleich werden die Pendel der Electroscope zusammenfallen, zum Beweise, dass die vorher wirksamen Electricitäten verschwunden sind. Hatte man beiden Instrumenten entweder nur positive oder nur negative Electricität mitgetheilt, so bleiben sie bei der wechselseitigen Berührung electrisch.

Wenn die auf zwei Leitern von gleicher Grösse angehäuften und gleich stark gespannten Electricitäten eine nicht zu geringe Spannung besitzen, so vereinigen sie sich schon vor der unmittelbaren Berührung beider Leiter unter Entstehung eines Funkens. Die Erscheinung des Funkens in diesem Falle bezeichnet den Augenblick des Verschwindens beider electrischen Zustände.

Von dem ersten Conductor der Maschine erhält man nur $+ \varepsilon$. Verbindet man aber das Reibzeug mit einem isolirten Leiter, so kann man auf demselben, während die Maschine betrieben wird, $- \varepsilon$ ansammeln. Man kann auf diese Weise vermittelst einer Electrisirmaschine beide Electricitäten gewinnen. Um aber die eine in reichlicher Menge zu erhalten, muss der für die andere bestimmte Leiter mit der Erde verbunden seyn. Der Grund dieses Verhaltens kann erst in der Folge erörtert werden.

Dass die gegenseitige Anziehung beider electrischen Flüssigkeiten, so wie die zwischen den Theilen jeder einzelnen stattfindende Abstossung auch wägbare Materie bewegen kann, widerspricht nicht der Unfähigkeit der Electricität, unmittelbar auf die Körper einzuwirken. Denn wenn die electrische Flüssigkeit im Raume eines Körpers durch die Luft und andere nicht leitende Umgebung gleichsam wie durch eine Behälterwand eingeschlossen und dadurch verhindert ist, diesen Raum zu verlassen, so vermag sie einem äusseren Drucke nicht nachzugeben, ohne den wägbaren Stoff, in dessen Poren sie sich aufhält, mit in ihre Bewegung zu ziehen. Wären alle Körper vollkommene Leiter, so würde man von einer electrischen Anziehung und Abstossung derselben nichts wahrnehmen können.

Die Theorie von zwei electrischen Flüssigkeiten oder die dualistische electrische Theorie ist zuerst von Symmer aufgestellt worden und wird daher häufig die Symmer'sche Hypothese genannt.

Franklin, der früher als Symmer eine electrische Theorie entworfen hat, suchte die Ursache der electrischen Erscheinungen in den Eigenschaften von nur einer electrischen Materie, von der er annahm, dass ihre Theile sich

unter einander abstossen, dass sie aber von aller wägbaren Materie angezogen werden. Dieses Fluidum ist nach seiner Ansicht durch die ganze Körperwelt verbreitet und jeder Körper enthält im natürlichen Zustande eine, seiner eigenthümlichen Beschaffenheit entsprechende Menge davon; unter Umständen kann er aber mehr aufnehmen oder auch verlieren. Der positive electrische Zustand bezeichnet einen Ueberfluss, der negative einen Mangel an der einem Körper zugehörigen natürlichen Electricitätsmenge.

Ganz entscheidende Gründe, die eine dieser Hypothesen der andern vorzuziehen, lassen sich aus den bis jetzt bekannten electrischen Phänomenen nicht herleiten. Die Symmer'sche Theorie gibt aber von mehreren Erscheinungen eine ungezwungnere Erklärung als die Franklin'sche und bietet eine sicherere Grundlage für die Rechnung; sie hat daher in der neuesten Zeit die Theorie von einem electrischen Fluidum (die Theorie der Unitarier) verdrängt.

305. Die Art des electrischen Zustandes eines Körpers kann nur durch Vergleichung erkannt werden. Hat man z. B. dem isolirten Hollundermark-Pendel $+ \varepsilon$ ertheilt, so wird es von einer mit Pelz geriebenen Glasstange abgestossen. Von einer Schwefelstange, die man mit Wolle gerieben hat, wird es aber angezogen; der Schwefel muss folglich mit $- \varepsilon$ behaftet seyn.

Das bequemste und sicherste Verfahren, den electrischen Zustand eines Körpers zu prüfen, besteht darin, einem genügend empfindlichen Electroscope mit zwei Pendeln im Voraus eine kleine Menge Electricität von bekannter Art, z. B. $+ \varepsilon$ zu ertheilen. Man nähere dann von Oben den zu prüfenden Körper. Ist er gleichartig electrisch, so vergrössert sich der schon vorhandne Ausschlag, weil das im Electroscop bereits enthaltene Fluidum, von dem des electrischen Körpers abgestossen, sich nach den entferntesten Puncten des leitenden Systems, nämlich nach den Pendeln, zu begeben sucht und hier folglich stärker angehäuft wird. Ist er entgegengesetzt, in unserem Beispiele — electrisch, so vermindert sich der Ausschlag, weil das im Electroscop enthaltene Fluidum jetzt nach Oben gezogen und dadurch aus dem Umfange der Pendel entfernt wird.

306. Wenn der dem Electroscope genäherte Körper entgegengesetzt electrisirt ist und das electrische Uebergewicht auf seiner Seite liegt, so fallen bei einem gewissen Abstande desselben die Pendel ganz zusammen, gleich als wäre alle Electricität aus dem leitendem Systeme des Electroscops entwichen. Entfernt man aber den electrischen Körper, so kommt die ganze frühere Spannung wieder zum Vorschein.

So lange der entgegengesetzt electrisirte Körper nahe genug ist, um das Zusammensinken der Pendel vollständig zu bewirken, kann das Fluidum des Electroscops durch Berührung mit dem Finger nicht abgeleitet werden. Dem Streben seiner Theile, sich nach anderen Richtungen als gegen den genäherten electrischen Körper zu bewegen, ist also durch die Anziehung dieses letzteren ein Gegengewicht gesetzt.

Die Electricität, wenn sie auf die eben beschriebene Weise,

durch Wirkung aus der Ferne, ihre freie Beweglichkeit verloren hat, wird **gebundene Electricität** genannt.

Dieser Zustand des Gleichgewichtes zwischen Attractions- und Repulsionskraft der Electricität unterscheidet sich von dem aus der Verbindung beider Flüssigkeiten hervorgehenden Gleichgewichtszustande wesentlich dadurch, dass er sogleich gestört wird, wenn man beide ungleichartig electrisirte Körper von einander entfernt, und dass, um die eine Flüssigkeit vollständig zu binden, die andere im Ueberschusse vorhanden seyn muss. Auch haben die Theile der gebundenen Electricität das Vermögen, einander abzustossen, nicht verloren; nur kann es sich in keiner Weise äussern, wodurch Richtung und Stärke der gegenseitigen Anziehung geändert werden müsste.

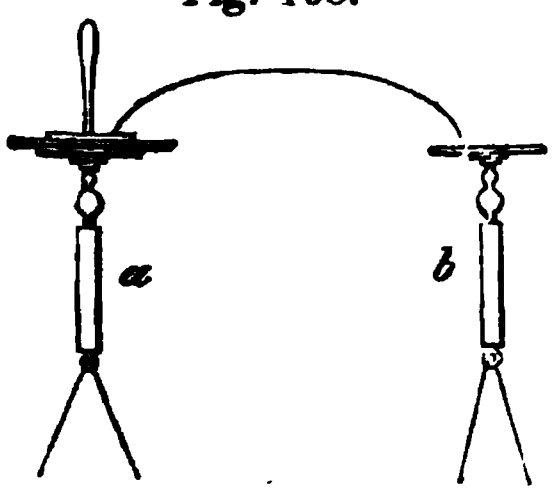
Nähert man einen electrischen Körper, z. B. die geriebene Siegellackstange, dem entgegengesetzt electrisirten Electroscope von Unten, so fallen die Strohhalm-Pendel nicht zusammen, wenn gleich das darin angehäufte Fluidum gebunden wird und nicht abgeleitet werden kann.

Eine gewisse Analogie der Erscheinung der electrischen Bindung mit derjenigen der magnetischen Bindung ist unverkennbar; man vergleiche §. 287.

307. Die electrische Bindung ist stets wechselseitig; d. h. weder von dem einen, noch von dem andern der beiden einander gegenüberstehenden, entgegengesetzt electrischen Körper kann durch einseitige Berührung mit dem Finger alle Electricität abgeleitet werden. Sind beide Körper Leiter, so lässt sich durch abwechselnde Berührung bald des einen, bald des andern allmählig alle Electricität entfernen. Denn da die vollständige Bindung des einen Fluidums ein mit dem Abstande zunehmendes Uebergewicht von anziehender Kraft auf der andern Seite erfordert, so muss sich stets auf der einen oder andern freie, d. h. ableitbare Electricität vorfinden.

Man stelle zwei Electroscope *a* und *b* (Fig. 108) von gleicher Einrichtung neben einander. Dem einen ertheile man $+ \varepsilon$, dem andern $- \varepsilon$ in geringerer Menge. Auf die Platte von *a* setze man eine dünne Harzscheibe, auf diese eine zweite Metallplatte und verbinde sie mit der Platte von *b* mittelst eines isolirten Metalldrahts. War der electrische Ueberschuss in *a* gross genug, so werden die Strohhalme von *b* zusammenfallen, aber gleichzeitig wird die Divergenz in *a* sich vermindern. Berührt man die Platte *a* mit dem Finger, so verschwindet die freie Electricität von *a*, dagegen die Pendel von *b* treten wieder aus einander. Entfernt man endlich die auf der Harzscheibe liegende Metallplatte, so bildet sich auch in dem Electroscope *a* wieder ein Ausschlag, zum Beweise, dass nicht alle Electricität desselben durch die Berührung hatte abgeleitet werden können.

Fig. 108.



308. Man bemerkt, dass die Pendel des Electroscops schon bei der Annäherung eines electrischen Körpers aus einander gehen.

Die Electricität, deren Gegenwart in den Pendeln hierdurch angezeigt wird, konnte nicht mitgetheilt worden seyn, denn die Divergenz tritt ein, lange bevor ein Funken überspringen konnte; auch verschwindet sie bei trockner Luft spurlos, so wie der electrische Körper wieder entfernt wird. Nähert man denselben von Oben, so erweist sich jene in den Pendeln wirksame Electricität als die gleichnamige. Sie fliesst ab und die Pendel fallen zusammen, wenn das Electroscop mit dem Finger berührt wird. Aber nicht alle vorhandne Electricität konnte auf diese Weise abgeleitet werden; denn unterbricht man die leitende Verbindung mit der Erde und entfernt dann erst den electrischen Körper, so entsteht ein neuer Ausschlag, doch jetzt durch Electricität entgegengesetzter Art bewirkt. Durch die Annäherung des electrischen Körpers muss also gleichnamige electrische Flüssigkeit zurückgedrängt, ungleichnamige angezogen und gebunden worden seyn.

Da nun vorher weder die eine noch die andere im leitenden Systeme des Electroscops bemerkbar war, so wird man zu dem weiteren Schlusse genöthigt, dass sich beide in ihrer Verbindung als neutrales Electricum vorfanden, und dass diese Verbindung durch die Wirksamkeit der freien Electricität schon aus der Entfernung getrennt werden kann.

Die gleichzeitige Gegenwart und das Verhältniss beider Flüssigkeiten in einem Körper lässt sich durch den folgenden Versuch sehr anschaulich machen. Man verbinde zwei ganz gleiche Electroscope mittelst eines Metalldrahts zu einem einzigen leitenden Systeme und nähere dann von der einen Seite einen mit freier Electricität behafteten Körper. Die Pendel beider Instrumente werden divergiren. Man hebe ihre Verbindung auf, indem man den Metalldraht an einer isolirenden Handhabe ergreift und wegnimmt; dann entferne man den electrischen Körper. Beide Electroscope erscheinen nunmehr mit gleichen Mengen freier Electricität behaftet; aber das dem electrischen Körper zunächst stehende ist ungleichnamig, das entferntere gleichnamig electrisirt. Stellt man ihre Verbindung wieder her, so fallen die Pendel zusammen.

309. Jeder Leiter der Electricität, ja jeder noch so kleine Theil desselben, im Zustande seines natürlichen Vorkommens enthält beide electrischen Flüssigkeiten im Gleichgewichtsverhältnisse. Freie Electricität, wo sie sich vorfindet, zersetzt, je nach ihrer vorhandenen Menge und der Grösse des Abstandes, einen mehr oder weniger grossen Theil des in den Leitern der Umgebung enthaltenen neutralen Electricums. Ungleichnamige Flüssigkeit wird angezogen und gebunden, während eine verhältnissmässige Menge der gleichartigen abgestossen wird und, wenn es die leitende Verbindung gestattet, in die Erde entweicht. Die hierdurch bewirkte Störung des natürlichen Gleichgewichtszustandes nennt man electrische Vertheilung.

Die vertheilende Kraft der Electricität vermindert sich, wie überhaupt die electrische Wirksamkeit, bei zunehmender Entfernung. Die Gränzen, bis zu welchen hin ein electrischer Körper

noch einen wahrnehmbaren vertheilenden Einfluss übt, nennt man seinen Wirkungskreis, oder auch seine electrische Atmosphäre.

310. Die Eigenschaft der Körper, durch Vertheilung ihres natürlichen electrischen Fluidums electrisch werden zu können, erklärt, warum leicht bewegliche Körper der electrischen Anziehung folgen können, ohne den entgegengesetzten Zustand durch Mittheilung erhalten zu haben. In der That werden, unter übrigens gleichen Umständen, solche Stoffe am stärksten angezogen, bei welchen das gleichartige Fluidum am weitesten zurückgedrängt werden konnte. Z. B. das am Seidenfaden hängende Hollundermark-Kügelchen wird auffallend weniger stark angezogen als das am leitenden Linnenfaden befestigte, weil die beiden Electricitäten des ersteren durch die vertheilende Kraft nur um einen geringen Abstand von einander getrennt werden können, die eine daher fast eben so stark abgestossen, als die andere angezogen wird.

Je schlechter ein Körper leitet, um so weniger leicht können die in ihm natürlich vorhandenen Electricitäten getrennt werden. Eine Schellackkugel, pendelartig aufgehängt, bleibt daher innerhalb des Wirkungskreises einer nicht sehr intensiven electrischen Kraft ganz unbeweglich. Hat man aber den kleinen Körper zuvor electrisch gemacht, oder umgibt man denselben mit Goldschaum, so folgt er der electrischen Anziehung.

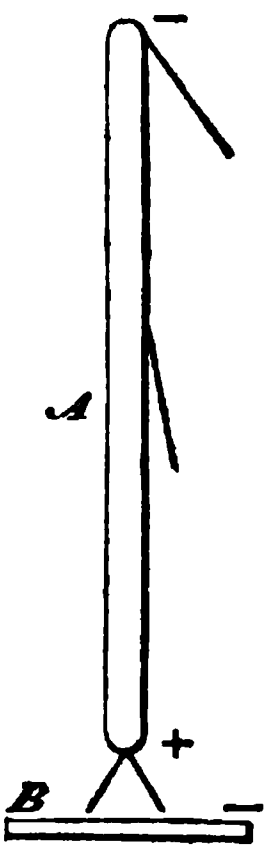
Ist der anziehende Körper sowohl wie der angezogene ein Leiter, so vereinigt sich die angezogene Electricität im Augenblicke der Berührung mit einem entsprechenden Theile ihres Gegensatzes; beide Körper, hierdurch gleichartig electrisch geworden, stossen sich daher alsbald wieder ab. Nichtleiter gestatten den Uebergang ihrer Electricität zu der ungleichartigen der angezogenen Körpertheile nur schwierig; die Abstossung erfolgt daher langsamer, zuweilen gar nicht.

Dem Uebersprungen des Funkens auf nicht electrische Körper geht stets eine electrische Vertheilung vorher. Sein Uebergang ist also in diesem wie in dem früher (12) betrachteten Falle zweier entgegengesetzt geladenen Leiter, ein sichtbares Resultat der gewaltsamen Vereinigung beider Flüssigkeiten durch eine trennende Luftschicht. Hiermit übereinstimmend ist die Erfahrung, dass Nichtleiter nur einer sehr stark gespannten Electricität gegenüber, und selbst dann nur schwierig, den Funken aufnehmen, und dass derselbe unter sonst gleichen Umständen um so leichter übergeht, je vollkommner und je grösser der Leiter ist, welcher in den Wirkungskreis eines electrischen Körpers gelangt. Ein kleiner, isolirter Leiter erhält weit schwächere Funken, weil seine gleichnamige Electricität nicht weit genug zurückgedrängt werden kann, um ihren Einfluss auf die ungleichnamige, von der sie getrennt wurde, ganz zu verlieren. Es ist übrigens einleuch-

tend, dass nach der Entwickluug des Funkens in dem einen Körper gerade so viel Electricität und von derselben Art frei geworden seyn muss, als von dem andern in den Gleichgewichtszustand versetzt wurde, genau so, als wäre diese Flüssigkeit von dem einen zum andern übergegangen.

311. Die auf einem Leiter durch Vertheilung entwickelte und gebundene Electricität, vermöge ihres Bestrebens, sich mit dem entgegengesetzten Fluidum zu vereinigen, nähert sich demselben, so weit es durch das Repulsionsvermögen ihrer eignen Theile und die Gränzen des Leiters gestattet wird. Sie häuft und verdichtet sich daher vorzugsweise an den dem anziehenden electrischen Körper zunächst liegenden Stellen.

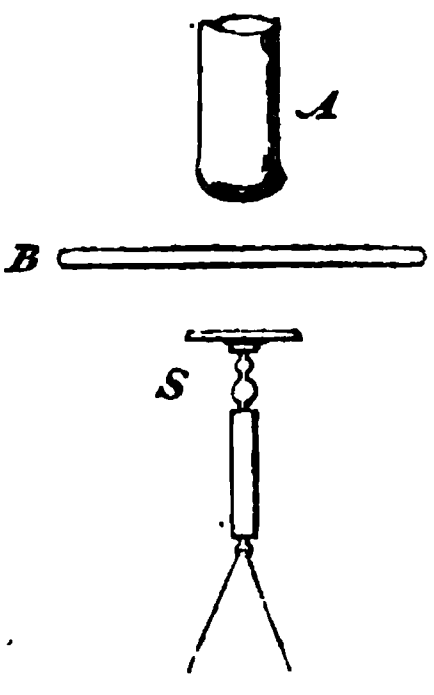
Fig. 109.



Trägt man z. B. einen isolirten Leiter *A* (Fig. 109) über einen durch Reiben electrisch gemachten Harzkuchen *B*, so wird man immer finden, dass die electrische Spannung an beiden Enden am grössten ist, und zwar am unteren in Folge der gebundenen $+ \varepsilon$, am oberen in Folge frei gewordener $- \varepsilon$. Berührt man den Leiter *A*, so verschwindet die durch $- \varepsilon$ bewirkte Spannung, und nur am untern Ende dauert die Divergenz der Strohhalme fort.

Je mehr Puncte eines Leiters der Oberfläche eines mit freier Electricität behafteten Körpers gegenüberstehen, so nahe als möglich, ohne dass die durch Atmosphärenwirkung entwickelte ungleichnamige Electricität zu der ursprünglich vorhandnen übergehen kann, um so grössere Mengen der ersteren werden gebunden, ohne dass jedoch die Menge der vertheilten Electricität jemals diejenige des ursprünglich electrischen Körpers erreichen kann.

Fig. 110.



Man nähere einem bleibend electrischen Körper (etwa einer geriebenen Siegellackstange *A*, Fig. 110) das Electroscop *S*, so weit, bis ein Ausschlag von bestimmter Grösse erfolgt. Man setze dann zwischen beide einen Leiter, z. B. eine Metallplatte *B*, die mit dem allgemeinen Ableiter, nämlich mit der Erde in Verbindung steht. Der Ausschlag wird sich vermindern und bei hinlänglicher Grösse der Platte ganz verschwinden. Kommt das Electroscop einen Augenblick mit der Erde oder auch unmittelbar mit der Platte in leitende Verbindung, so bildet es gleichsam ein entfernter liegendes Ende des der vertheilenden Kraft des electrischen Körpers dargebotenen leitenden Systems. Die vertheilte ungleichnamige Electricität, nach dem vorderen Ende ge-

zogen, muss sich also vorzugsweise in der Platte ansammeln. Es folgt hieraus, dass in dem Raume des Electroscops gar keine oder doch nur eine äusserst geringe Menge gebundner Electricität sich aufhalten und nach aufgehobner Verbindung mit der Erde und Entfernung des electrischen Körpers (A) nachgewiesen werden kann. Verbindet man das Electroscop und die Platte B nicht gleichzeitig mit der Erde, sondern zuerst nur die letztere und dann das erstere, so kann das durch Atmosphärenwirkung vertheilte ungleichnamige Fluidum des Electroscops nicht zu der Platte überströmen. In diesem Falle wird daher nach Entfernung von A eine stärkere Divergenz eintreten, als wenn das Electroscop, selbst bei geringerem Abstande vom ursprünglich electrischen Körper, mit dem Leiter B in Berührung war.

Wenn ein Nichtleiter, z. B. eine trockne Glas- oder Harzscheibe zwischen einen electrischen Körper und das Electroscop gesetzt wird, so bleibt die vertheilende Kraft des ersteren unbeschäftigt, weil die in dem Harze vorhandenen natürlichen Electricitäten nicht getrennt werden können. Da demnach ein Nichtleiter im natürlichen Zustande unfähig ist, die electrische Thätigkeit selbst zu beschäftigen, so kann er auch den Aeusserungen derselben auf die Ferne kein Hinderniss entgegensetzen. Daher kommt es, dass Harz, trocknes Glas und andere schlechte Leiter die Wirkungen der electrischen Vertheilung, Anziehung und Abstossung, um so vollständiger durchlassen, je befähigter sie sind, die Electricität aufzuhalten.

Nähere Betrachtung der Electricitäts-Erzeugung durch Reibung.

312. **Durch Reiben werden immer beide Electricitäten zugleich entwickelt, und zwar nimmt der eine der reibenden Körper $+ e$, der andere $- e$ auf, in dem Verhältnisse, dass beide einander das Gleichgewicht halten können.**

Man befestige auf dem Electroscope eine Metallplatte, deren obere Fläche eben geschliffen ist, und reibe sie mit der gleichfalls ebnen Fläche eines andern, aber nicht leitenden Körpers, z. B. mit einer Glas- oder Harzscheibe. Keine oder doch nur eine geringe Divergenz wird bemerkbar. So wie man aber beide Körper trennt, erscheint der eine mit $+ e$, der andere mit $- e$ beladen.

Es geht hieraus hervor, dass der Reibungsprocess eine Zersetzung der natürlich vorhandnen Electricitäten an den äussersten Oberflächen zweier zusammengeriebenen Körper herbeiführt; wobei aus Gründen, die bis jetzt unerklärt sind, das eine Princip auf dem einen, das andere auf dem andern Körper ausgeschieden wird. Beide jedoch, da sie in Folge ihres Ursprungs in gleichem Verhältnisse vorhanden sind, binden sich wechselseitig und können also nur nach erfolgter Trennung der Körper wahrnehmbar werden.

313. **Die Art des electrischen Zustandes, welchen ein Körper durch Reibung erhält, richtet sich nach der Beschaffenheit des**

Reibzeugs. Z. B. in der folgenden Reihe von Körpern wird irgend welcher, den man auswählen mag, mit einem der über ihm stehenden gerieben, negativ, durch alle nachfolgenden positiv electrisirt.

Katzenfell,	Seide,
Fuchsschwanz,	Siegellack,
Polirtes Glas,	Mattgeschliffenes Glas,
Wolle,	Metall,
Papier,	Schwefel.

Diese Reihe ist übrigens nur annähernd richtig, weil nicht nur die eigenthümliche Beschaffenheit eines Stoffes, sondern auch sein äusserer Zustand und selbst die Art des Reibens auf die Qualität der darauf erregten Electricität von Einfluss seyn können.

So findet man, dass mattgeschliffenes Glas gegen polirtes und sogar gegen Schellack negativ electrisch wird. Erwärmtes Glas wird negativ electrisch durch Reiben mit kaltem Glase. Ueberhaupt rückt ein Körper in einer electrischen Reihe, wie die hier aufgestellte, durch Erwärmen abwärts. In diesem Umstande hat man die Erklärung gesucht, warum von zwei weissen seidnen Bändern, aus demselben Stücke genommen, die kreuzweise über einander gerieben werden, das der Länge nach geriebene $+ \varepsilon$, das in die Quere geriebene $- \varepsilon$ annehmen müsse. Letzteres nämlich, da es sich an weniger Puncten reibt, wird stärker erwärmt.

314. Man bemerkt, dass ein unter den vorher zusammengestellten Körpern beliebig gewählter durch Reiben um so stärker electrisch werden kann, je weiter das aus derselben Reihe gewählte Reibzeug davon absteht. Um z. B. Siegellack negativ zu electrisiren, ist Pelzwerk das geeignetste Reibzeug; um dem polirten Glase $+ \varepsilon$ zu ertheilen, ist Wolle weit weniger wirksam als Metall. Das beste Reibzeug für Glas ist das Kienmayer'sche Amalgam (2 Theile Quecksilber, 1 Theil Zinn, 1 Theil Zink). Entgegengesetzte electrische Zustände werden indessen selbst dann erhalten, wenn man dem Anscheine nach ganz gleichartige Körper, z. B. zwei polirte Glasplatten, zusammenreibt.

Die zwischen zwei Körpern durch Reibung bewirkte Ausscheidung der electrischen Flüssigkeiten kann über eine gewisse Gränze hinaus nicht gesteigert werden. Diese Gränze ist erreicht, wenn die bei der Reibung thätige zersetzende Kraft, vermehrt um den Leitungswiderstand, mit der gegenseitigen Anziehung beider Flüssigkeiten oder mit ihrem Bestreben, sich wieder zu vereinigen, ins Gleichgewicht getreten ist. Von den beiden auf einander geriebenen Stoffen muss immer wenigstens der eine ein schlechter Leiter seyn; Alles, was die Leitfähigkeit dieses letzteren vermehrt, z. B. Feuchtigkeit, vermindert die Anhäufung der erzeugten Electricitäten.

315. Schlechte Leiter werden zunächst zwar nur an der geriebenen Stelle electrisch. Es scheint jedoch, dass freie Electricität an der Oberfläche eines schlechten Leiters nicht auftreten könne, ohne dass ein verhältnissmässiger Theil des entgegengesetzten Fluidums im Innern ausgeschieden werde. Denn wenn eine nicht

zu dicke Scheibe von trocknem Glase oder Harze auf der einen Seite gerieben und dadurch electrisch wird, so nimmt die andere Seite den entgegengesetzten electrischen Zustand an; zwar in geringerem Grade der Spannung und häufig auch nicht sogleich. Fährt man aber fort zu reiben, oder überlässt auch nur die Platte in trockner Luft sich selbst, so werden die beiden gegenüberliegenden Flächen nach einiger Zeit unfehlbar ungleichnamige electrische Zustände zeigen.

Werden mehrere dünne Scheiben auf einander gelegt und nur die eine oder andere der äussersten Oberflächen gerieben, so werden gleichwohl alle, wiewohl in abnehmenden Graden, electrisch, und zwar findet man, dass jede Scheibe, für sich geprüft, auf der Fläche, die mit der geriebenen Oberfläche gleiche Lage hatte, die gleichartige, auf der abgewendeten Fläche die ungleichartige Electricität erhielt.

Da die auf der einen Seite einer nicht leitenden Scheibe durch Reibung entwickelte Electricität über die auf der andern Seite auftretende ungleichnamige das Uebergewicht hat, so lässt sich die letztere gewöhnlich nicht unmittelbar nachweisen. Setzt man z. B. eine dünne Harzscheibe mit der nicht geriebenen Fläche auf die Platte eines Electroscops, so wird das letztere gleichwohl mit — E. divergiren und + E. wird gebunden. Hat man aber zuvor die obere, geriebene Fläche des Harzes mit einer andern Metallplatte bedeckt, so richtet sich die vertheilende Kraft der — E. des Nichtleiters vorzugsweise gegen die natürlichen Electricitäten des zunächst liegenden Leiters. Jetzt wird daher + E. der oberen Platte gebunden, das entsprechende — E. abgestossen. Führt man dieses durch Berührung mit dem Finger in die Erde ab, so wird durch die zurückbleibende und gebundene + E. das Uebergewicht der — E. auf der geriebenen Fläche der Harzscheibe beschäftigt, daher die + E. auf der nicht geriebenen in Freiheit gesetzt. Die Wirkung auf die natürlichen electrischen Flüssigkeiten des Electroscops ist nunmehr gerade die umgekehrte von vorher; nämlich — E. wird gebunden und + E. abgestossen.

Eine ähnliche bleibend electrische Vertheilung, wie durch Reiben, kann in Scheiben von trocknem Glase oder Harze auch durch die Atmosphärenwirkung eines benachbarten electrischen Körpers hervorgerufen werden, in der Art, dass die dem electrischen Körper zugekehrte Fläche des Nichtleiters den ungleichnamigen, die abgewendete den gleichnamigen Zustand annimmt.

Durch die gleichzeitige Entwicklung beider Electricitäten auf einem schlechten Leiter beschränken sie wechselseitig ihre Wirkungskreise, werden aber auch andererseits eben dadurch auf der nicht leitenden Materie besser zurückgehalten. Wird eine Glas- oder Harzscheibe auf beiden Seiten gerieben, so dass auf beiden Seiten gleichartige electrische Flüssigkeiten entwickelt werden, so stossen sich diese wechselseitig ab; die ganze auf einer Seite entwickelte Menge kann daher jetzt leichter auf andere Körper übertragen werden und springt auf benachbarte Leiter selbst in Gestalt eines Funkens über.

Electrisirmaschine.

316. Auf den Gesetzen der Electricitätserzeugung durch Reiben, beruht die Einrichtung der Reibungs-Electrisirmaschine. Sie besteht, wie bereits erwähnt wurde, aus drei wesentlichen Stücken: einem schlecht leitenden Körper, der gerieben wird, einem guten

Leiter, der als Reibzeug dient, und dem Conductor, bestimmt, die auf dem geriebenen Körper erregte Electricität zu sammeln.

Das beste Material für den geriebenen Körper ist weisses, hartes, wenig Kali haltiges und dadurch wenig hygroscopisches Glas. Man verwendet es in Gestalt von runden Spiegelscheiben oder hohlen Cylindern, die auf wagerecht liegenden Axen sitzen, um welche sie mittelst Kurbeln gedreht werden und dadurch sich in dem festliegenden, mässig angedrückten Reibzeuge reiben. Dieses besteht gewöhnlich aus einem Lederkissen, worauf eine Lage des Kienmaier'schen Amalgams mit etwas Schweinefett gemengt, gleichförmig ausgebreitet ist. Dieser metallische Ueberzug muss von Zeit zu Zeit erneuert werden, weil das Zink während des Gebrauchs sich oxydirt, wodurch, wie die Erfahrung lehrt, seine Wirksamkeit sich vermindert. Um die Electricität des Reibzeugs sammeln zu können, muss dasselbe eine isolirende Unterlage haben und mit einem isolirten Leiter von grösserem Umfange in Verbindung stehen.

Der erste Conductor, von Holz mit Metallpapier überzogen, oder besser von Messigblech, ruht auf einem 2 — 3 Fuss hohen nicht über 1 Zoll dicken Glasfusse ohne Höhlung. In den Wirkungskreis des mit + E. beladenen Glases gebracht, werden seine im natürlichen Zustande vorhandnen Electricitäten vertheilt; seine — E. angezogen, verbindet sich bei genügender Annäherung mit der + E. des Glases, während seine eigne + E. frei wird. Man befördert diese Wirkung durch die Gestalt des Conductors, die so beschaffen sein muss, dass er der an ihm vorübergehenden geriebenen Glasfläche, in möglichst geringem Abstande, eine Fläche von entsprechender Breite darbieten kann. Auch pflegt man den gegen das geriebene Glas gerichteten Theil desselben, den sogenannten Einsauger, mit einigen Spitzen zu besetzen. Wenn der Einsauger eine zweckmässige Gestalt und Grösse hat und dem Glaskörper nahe genug steht, so kann er dem letzteren während des Vorübergangs, fast alle durch Reiben darauf erregte Electricität entziehen. Die von dem geriebenen Körper entfernteren Theile der Oberfläche des Conductors müssen glatt abgerundet sein und dürfen keine Ecken oder hervorragenden Stellen zeigen.

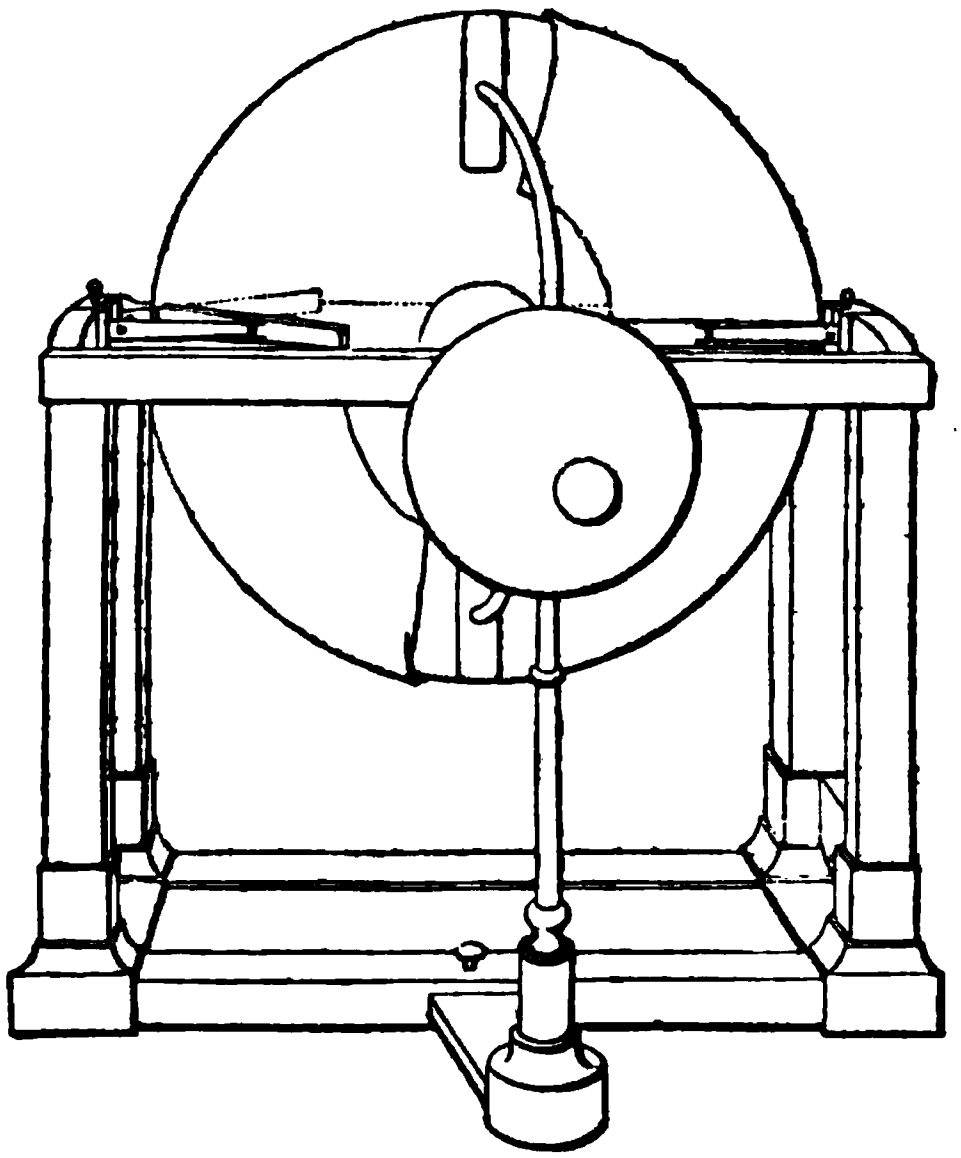
Um das Ueberspringen des electrischen Funkens vom Conductor auf das Reibzeug zu verhindern, müssen beide so weit thunlich von einander entfernt stehen. Damit aber die mit Electricität beladene Glasfläche nicht schon vor ihrer Ankunft an dem Conductor, durch Berührung mit der Luft, einen Verlust erleiden könne, bedeckt man sie mit einem Streifen Wachstaffet, der am Rande des Kissens angenäht ist, und bis in die Nähe des Einsaugers reicht.

Die Glasfüsse so wie der Glaskörper müssen vor dem Gebrauche mit warmen wollenen Zeugen abgerieben werden, um Feuchtigkeit, Staub und etwa anhängendes Amalgam zu entfer-

nen. Wenn die Luft feucht ist, erhält man dessenungeachtet auch mit den kräftigsten Maschinen nur geringe Wirkungen. Um ihre Wirksamkeit zu steigern, muss man dann suchen die umgebende Luftmasse zu erwärmen und sie auf diese Weise relativ trockner machen.

Die Scheibenmaschinen werden am häufigsten gebraucht. Eine runde, polirte Spiegelscheibe von höchstens 3 Linien Dicke und 20 bis 60 Zoll Durchmesser

Fig. 111.



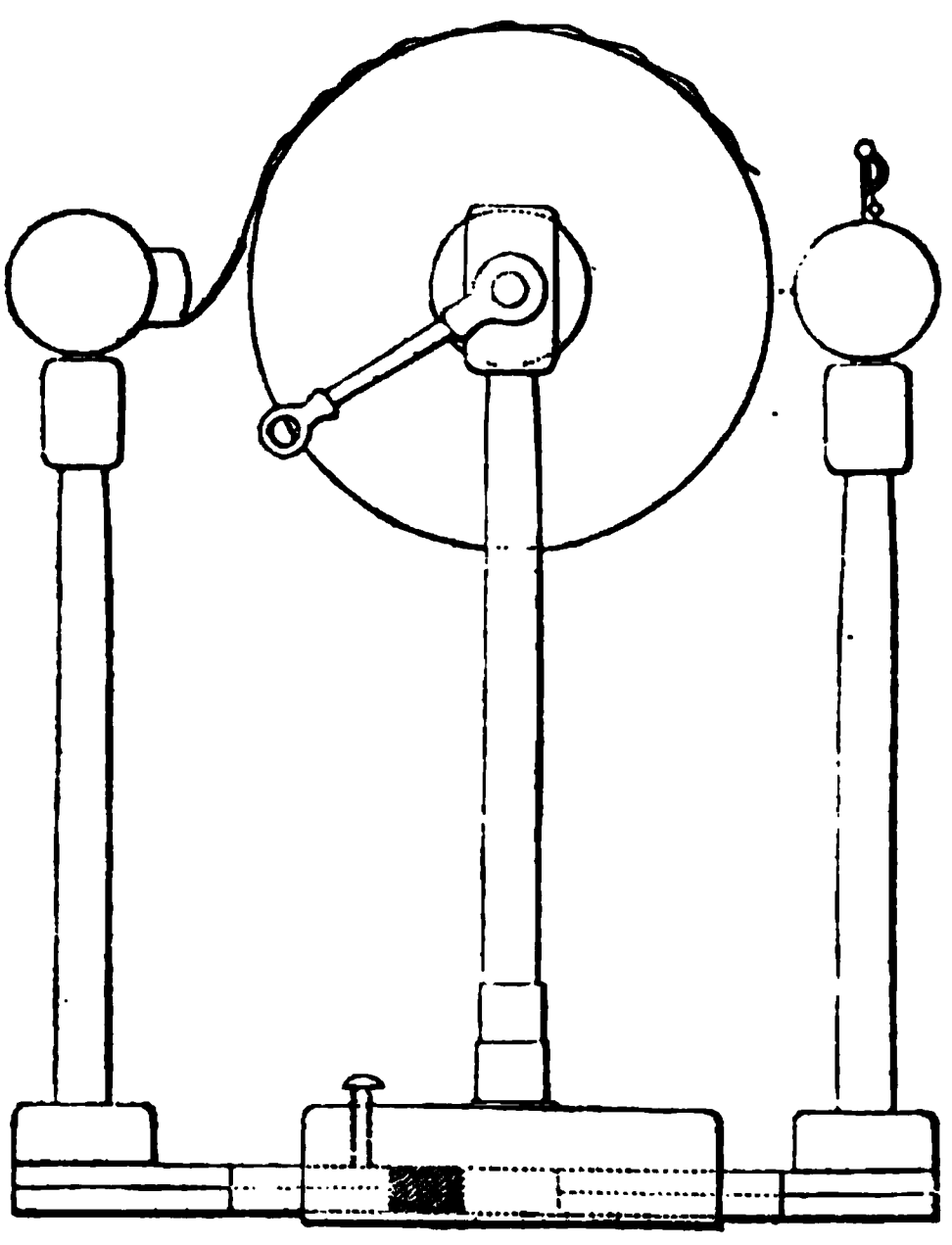
ist in der Mitte durchbohrt. Durch dieses Loch geht eine Axe, bei kleinen Maschinen von Holz, bei grösseren von Eisen, worauf auf der einen Seite des Glases ein halbkugelförmiges Stück von trocknem hartem Holze fest aufsitzt. Ein ähnliches Stück wird auf der andern Seite des Glases, mittelst eines in die Axe geschnittenen Gewindes gegen die Scheibe gepresst, und dadurch diese zwischen beiden halbkugelförmigen Stücken fest eingeklemmt. Beide Stücke sind auf der dem Glase zugekehrten Fläche mit weichem Leder gefüttert. Auch müssen sie, bevor man sie aufsetzt, scharf getrocknet und mit Bernsteinfirniss überzogen werden. Als Reiber dienen eben abgeschliffne Messingstreifen, worauf weiches, glattes Leder, in welches das Amalgam eingerieben wird, flach aufgespannt ist. Je zwei derartige Streifen, in passend hergerichtete, federnde Träger (Fig. 111) so eingeschoben, dass sie die Scheibe von beiden Seiten einschliessen, ohne doch der Bewegung derselben folgen zu können, bilden ein Reibzeug. Die beiden federnden Arme oder Träger sitzen am Gestelle der Maschine in Gelenken, so dass sie gegen die Scheibe gedrückt oder auch davon entfernt werden können. Beide sind, nahe dem Umfange der Scheibe, mittelst eines Stiftes verbunden, das am einen Ende in eine Schraube ausgeht; durch das Anziehen der letztern werden beide Reiber zugleich und mit gleicher Stärke wider die Glasfläche gepresst. Ein mässiger Druck reicht schon hin, um das Maximum der Electricitätserregung zu erzielen. Man pflegt die Reiber halb so lang zu nehmen als den Halbmesser der Scheibe. Ein Zoll Breite genügt. Eine grössere Breite zeigt sich sogar in der Regel als nachtheilig; denn es ist nicht

leicht, das Amalgam über eine grössere Fläche gleichförmig auszubreiten; jeder Punct aber, an welchem keine Reibung stattfindet, bietet den zersetzten Electricitäten eine Gelegenheit, wieder zu einander überzutreten. Breitere Streifen, indem sie, um mit dem Glase in genügende Berührung zu kommen, einen grösseren Druck in Anspruch nehmen, erschweren also den Betrieb der Maschine, ohne, selbst im günstigsten Falle, einen entsprechenden Vortheil dafür zu gewähren. Es sind an der Scheibenmaschine gewöhnlich zwei Reibzeuge an den gegenüberstehenden Enden desselben Kreis-Durchmessers angebracht. — In einer Entfernung von 90° von jedem Reibzeuge befindet sich, gewöhnlich nur auf einer Seite der Glasplatte, ein Einsauger von Messingblech von einer, der des Reibkissens gleichen Länge. Die äussere Fläche desselben ist dick gefirnisst, der Rand gegen die Scheibe hin umgebogen und abgerundet, die innere, reine Metallfläche ist hohl und mit Spitzen versehen. Von jedem Einsauger führt ein Arm zu dem kugelförmigen Conductor. Der Glasfuss des letzteren sitzt auf einem Brette, das sich in das Gestelle der Maschine einschieben lässt und den Zweck hat, die Einsauger der Glasscheibe möglichst nahe zu rücken.

Scheibenmaschinen, auf die beschriebene Weise eingerichtet, können wegen ihres festen Baues in beträchtlicher Grösse ausgeführt werden. Man hat Scheiben von 20 — 60 Zoll Durchmesser; auch lassen sich zwei neben einander auf derselben Axe anbringen. Sie haben vor den Cylindermaschinen überdiess das voraus, dass das Glas auf beiden Seiten gerieben wird, wodurch die Spannung der entwickelten Electricität gesteigert und ihr Uebergang auf den Conductor erleichtert wird. Die Ebne und Glätte der Scheibe gestattet ein innigeres Anschmiegen des Reibzeugs und daher bei mässigem Drucke eine vollkommnere electrische Erregung. Diese Maschinen sind aber gewöhnlich nur zur Hervorbringung von positiver Electricität eingerichtet; die gleichzeitige Gewinnung der negativen Electricität erfordert Isolirung der Reibzeuge, wodurch die Haltbarkeit leidet.

Die Cylindermaschinen sind immer für die gleichzeitige Gewinnung beider

Fig. 112.

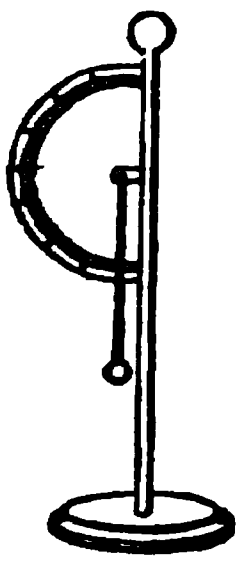


electrischen Flüssigkeiten berechnet und lassen sich zu diesem Zwecke mit dem verhältnissmässig geringsten Kostenaufwande einrichten. Fig. 112 zeigt einen Durchschnitt einer solchen Maschine in $^1/_{10}$ natürlicher Grösse.

Der Glascylinder von 1,5 — 2 Fuss Länge und 12 Zoll Durchmesser dreht sich zwischen zwei Glassäulen, die seiner Axe zu Stützen dienen. Die cylindrischen Conductoren auf beiden Seiten desselben und mit ihm gleichlaufend, haben 2 — 25 Fuss Länge, so dass sie auf der der Kurbel gegenüber liegenden Seite beträchtlich über den Glaskörper hervorstehen. Ihre isolirenden Füsse sitzen auf Schiebern, die in entsprechende Oeffnungen des Gestelles eingelassen und dadurch verrückbar sind. Der eine Conductor, zur Aufnahme der + E. bestimmt, ist auf der gegen den Glascylinder gerichteten Seite mit Spitzen besetzt, der andere trägt das Reibzeug. Letzteres besteht aus einem mit Pferdehaaren ausgestopften Lederkissen von gleicher Länge mit dem Glascylinder, dessen sonstige Einrichtung durch die Zeichnung verständlich ist.

Wenn während des Betriebes einer Cylindermaschine beide Conductoren isolirt sind, so zeigen sie beide freie Electricität, aber nur von geringer Stärke, weil bald diejenige Gränze der Spannung eintritt, wobei die — E. des Reibzeugs unmittelbar zur + E. des Glases übergeht (314). Verbindet man das Reibzeug mit dem Boden, so kann sich keine freie — E. darauf erhalten; die + E. des Glases muss daher einen höhern Grad der Spannung annehmen, bevor sie die Fähigkeit erlangt, sich mit der im Reibzeuge im gebundenen Zustande befindlichen ungleichnamigen Flüssigkeit unmittelbar zu vereinigen. Steht der positive Conductor in Verbindung mit dem allgemeinen Ableiter, so gibt die an ihm vorübergehende Glasfläche beinahe die ganze darauf durch Reibung frei gewordne Electricitätsmenge ab, und kommt in einem fast unelectrischen Zustande wieder mit dem Reibzeuge in Berührung, daher jetzt dieses, wenn es isolirt ist, das Maximum der electrischen Spannung annimmt. Werden beide isolirte Conductoren mit einander in leitende Verbindung gesetzt, so zeigt keiner die geringste Spur von freier Electricität.

Fig. 113.



317. Um electrische Zustände von hoher Intensität, wie sie mit der Electrisirmaschine erhalten werden können, ihrem Grade nach zu bestimmen, gebraucht man gewöhnlich das Henley'sche Electrometer. Es ist ein einfaches, leicht bewegliches Pendel (Fig. 113), das im unelectrischen Zustande senkrecht hängt, so wie sich aber Electricität auf dem Conductor anhäuft, abgestossen wird. Die Grösse der Divergenz misst man an einem Gradebogen, der auf einem Streifen von Glas oder Elfenbein aufgetragen ist. Daher der Name Quadranten-Electrometer. Dieses Werkzeug ist übrigens weniger geeignet um Verschiedenheiten in der Stärke der electrischen Anhäufung zu messen, als vielmehr um dieselben wahrzunehmen und um Spannungen von gewisser Grösse immer wieder zu finden.

Vermittelst des Quadranten-Electrometers erhält man nur ein Urtheil über die Spannung der auf einem Conductor angehäuften Electricität, oder über die Grösse des Bestrebens dieser Flüssigkeit, auf andere Körper überzugehen. Die Stärke des electrischen Funkens und die Wirkungen der übergehenden Electricität hängen aber zugleich von ihrer Spannung und vorhandnen Menge

ab. Ein Massstab für die letztere ist bei übrigens gleicher Gestalt die Grösse der Oberfläche des Conductors.

Vergrössert man den Conductor, indem man z. B. einen zweiten oder mehrere isolirte Leiter damit in Verbindung setzt, so nimmt auch die Electricitätsmenge zu, welche während des Betriebs der Maschine gesammelt und durch den überschlagenden Funken auf einmal entladen werden kann. Weil aber theils durch die isolirenden Füsse, theils unmittelbar durch die Luft fortwährend Electricität entweicht und weil dieser Verlust bei zunehmender Spannung ebenfalls zunimmt, so kommt es, dass selbst unter den günstigsten äusseren Verhältnissen eine gewisse Grösse der leitenden Oberfläche nicht überschritten werden darf, ohne dass das Maximum der erreichbaren Spannung und folglich auch die Wirkung des Funkens abnimmt.

Als Regel gilt, dass die Oberfläche des Conductors nicht grösser sein dürfe, als die geriebene Fläche des Glaskörpers, dergestalt, dass das Maximum der Ladung und Spannung durch eine volle Umdrehung erhalten werden könne. Diese Annahme ist jedoch durch die Erfahrung nicht mit Sicherheit festgestellt. Gewiss ist nur, dass mittelst einer geriebenen Glasfläche von geringer Ausdehnung, ein Conductor von beträchtlicher Grösse durch noch so viele Umdrehungen nicht starck geladen werden kann.

Leidner Flasche. Verstärkte Electricität.

318. Mit Hülfe einer Geräthschaft, welche Fränklin'sche Tafel genannt wird, ist man im Stande, die Capacität eines Leiters zu vergrössern ohne gleichzeitige Vergrösserung seiner Oberfläche, und folglich ohne Nachtheil für die Intensität der auf dieser Oberfläche sich ansammelnden electrischen Flüssigkeit.

Die Fränklin'sche Tafel ist eine dünne Glasscheibe, auf beiden Seiten bis etwa zwei oder drei Zoll vom Rande abstehend mit Zinnfolie belegt. — Man verbinde die eine Belegung (*A*) mit dem positiven Conductor einer Electrisirmaschine; freie + E. wird sich darauf ansammeln und durch das Glas vertheilend, auf die andere metallische Belegung (*B*) einwirken. + E. kann folglich auch von dieser abgeleitet werden, während die früher damit vereinigt gewesene — E. durch die + E. der Belegung *A* gebunden wird. Die electrische Bindung ist aber stets wechselseitig. Die auf *A* gesammelte + E. verliert daher, in der Richtung gegen den Conductor hin, ebenfalls einen Theil ihres Repulsionsvermögens. Daher neuer Zudrang von + E. von dieser Seite her; und von Neuem kann auch aus der Belegung *B* ein Funken gezogen werden, und so fort, bis das auf der Belegung *A* erforderliche, durch die Dicke des Glases bedingte Uebergewicht an freier Electricität

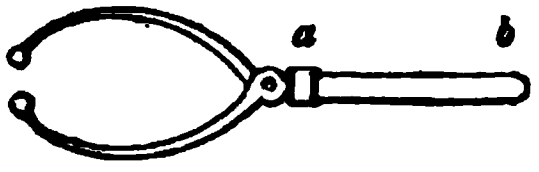
das Maximum der Dichtigkeit, welche dem Conductor an dieser Stelle überhaupt ertheilt werden kann, angenommen hat. Auf der Fränklin'schen Tafel kann also, bei gleicher Flächengrösse eine ungleich grössere Menge von Electricität angehäuft und verdichtet werden, als auf dem Conductor, ohne dass doch ihr Repulsionsvermögen und mit diesem ihr Bestreben zu entweichen sich vergrössert hat. Uebrigens erkennt man zugleich, dass die ganze Menge der auf diesem Wege gesammelten Electricität mit der auf dem Conductor herrschenden electrischen Dichtigkeit in geradem Verhältnisse stehen muss.

Wird die Belegung *B* während des Betriebs der Maschine in leitende Verbindung mit der Erde gesetzt, so müssen die eben beschriebenen Wirkungen in unausgesetzter Folge eintreten. Man bemerkt dann, dass die Belegung *A*, die mit dem Conductor in Berührung steht, anfangs fast alle Electricität desselben aufnimmt, so dass das Henley'sche Electrometer nur einen sehr geringen Ausschlag gibt. Die Spannung steigt aber allmählig und erreicht nach einigen Umdrehungen dieselbe Grösse, welche ohne die Gegenwart der Fränklin'schen Tafel hätte eintreten müssen. Letztere befindet sich dann im Maximum der Ladung. Durch Annäherung eines isolirten Leiters kann man abwechselnd bald aus der einen bald aus der andern Belegung der geladenen Tafel einen Funken ziehen, dessen Stärke dem jedesmaligen Uebergewichte an freier Electricität entspricht. Wird ein guter Leiter, der mit der einen Belegung in unmittelbarer Berührung steht, der andern Belegung genähert, so treten bei einem gewissen Abstande (welcher je nach der Grösse der Spannung verschieden ist), der sogenannten Schlagweite, beide angesammelten Electricitäten auf einmal zu einander über. Dieser Uebergang, der electrische Schlag, ist von einem weit stärkeren Funken, als ihn der Conductor liefern kann, und einem verhältnissmässig starken Knalle begleitet. Häufig gehen beide Flüssigkeiten schon während der Ladung und bevor noch das Maximum der Spannung erreicht ist, plötzlich vollständig zu einander über. Eine solche freiwillige Entladung findet statt, wenn der nicht belegte Rand der Glastafel nicht breit genug, oder nur unvollkommen trocken, oder aus irgend einem andern Grunde nicht isolirend genug ist.

Der electrische Schlag, wenn er durch den menschlichen Körper geht, bewirkt eine heftige, schmerzhafte, aber nur augenblickliche Erschütterung. Befinden sich mehrere und selbst viele Personen in dem Kreise guter Leiter, durch welchen beide Electricitäten zu einander übertreten, so empfinden sie alle gleichzeitig, hauptsächlich in den Armgelenken, diesen eigenthümlichen Nervenein-druck.

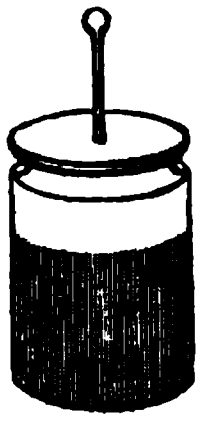
Mittelst des Ausladers (Fig. 114) lässt sich die Entladung ganz gefahrlos bewerkstelligen. Zwei in Knöpfe ausgehende Me-

Fig. 114.



tallstangen sind bei *a* durch ein Gelenke verbunden; die Handhabe *a b* ist eine gefirnisste Glasstange. Wenn die Metallstangen nicht zu dünn sind, so kann man sie während der Entladung einer Leidner Flasche in die Hände nehmen, ohne befürchten zu müssen, dass der Schlag durch den Körper gehe. Denn die Electricitäten wählen zu ihrem Durchgange immer die besten Leiter, und die Metalle leiten viele hunderttausendmal besser als der menschliche Körper.

Fig. 115.



Die Leidner Flasche, auch Verstärkungsflasche genannt, (Fig. 115) ist nur eine veränderte, für den Gebrauch bequemere Form der Fränklin'schen Tafel. Sie ist innerhalb wie ausserhalb, bis 2 — 3 Zoll vom obern Rande abstehend, mit Zinnblatt bekleidet und um die metallische Verbindung mit der innern Belegung zu erleichtern, erhebt sich vom Boden der Flasche eine Metallstange, die oben mit einem Knopfe versehen ist. Die Grösse der belegten Fläche einer Leidner Flasche richtet sich nach der Grösse der Electrisirmaschine. Mittelst kräftig wirkenden Maschinen können Flaschen von 10 und mehr Quadratfuss Belegung vollständig geladen werden. Statt solcher grossen Flaschen verwendet man gewöhnlich mehrere kleinere, deren äussere Belegungen sämmtlich mit der Erde in Verbindung stehen, während die zu den inneren Belegungen führenden Drähte zu einem einzigen leitenden Systeme vereinigt sind. Eine derartige Verbindung mehrerer Flaschen wird eine electrische Batterie genannt.

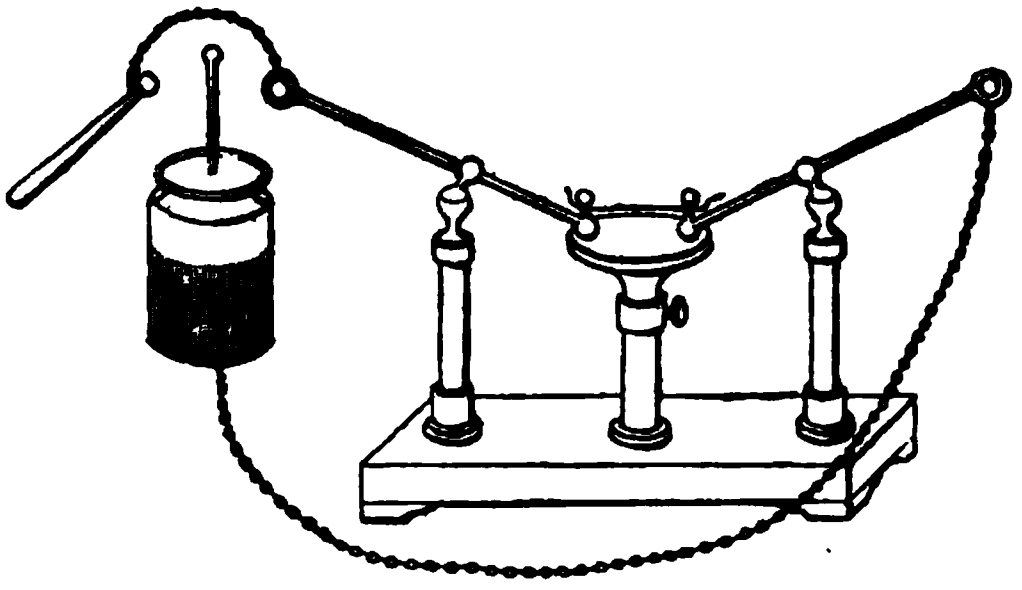
319. Die Wirkung des Schlags einer stark geladenen electrischen Batterie, oder auch nur einer grossen Flasche, auf den thierischen Organismus ist äusserst heftig und kann selbst gefährlich werden. Kleinere Thiere werden dadurch getödtet. Durch vollkommnere Leiter als den menschlichen Körper, z. B. durch Metalldrähte von beträchtlicher Dicke, entladen sich beide Electricitäten ohne irgend eine wahrnehmbare Einwirkung. Dagegen jedes materielle Mittel, durch dessen Dazwischenkunft ihr Uebergang zu einander erschwert wird, ohne doch ganz gehindert werden zu können, erfährt, je nach seiner Leitfähigkeit und sonstigen Beschaffenheit, eine mehr oder weniger grosse Veränderung seines physikalischen oder chemischen Zustandes.

Schlechte Leiter, wie trocknes Holz, Papier, Glas, Harz werden durchbohrt, zerrissen, zersplittert und oft, wie durch eine bedeutende ausdehnende Kraft zersprengt und ihre Theile weithin fortgeschleudert. Verbrennliche Stoffe können dabei bis zur Entzündung erhitzt werden. Selbst gute Leiter, deren Querschnitt aber zu gering ist, um die vorhandene Electricitätsmenge ohne Aufenthalt durchlassen zu können, z. B. sehr dünne Metalldrähte werden

erwärmt, zum Glühen erhitzt, verbrannt. Flüssigkeiten, welche die Electricität leiten, z. B. Wasser, Salzlösungen, Säuren, erleiden theilweise eine chemische Zersetzung. In kleinen Mengen in Glasbehältern eingeschlossen, in die man die Electricitäten durch Metallspitzen einführt, können sie so stark und so plötzlich ausgedehnt werden, dass sie die Gefässe zersprengen. Die atmosphärische Luft wird erwärmt und ausgedehnt; entzündliche Gemenge von Gasen oder Dämpfen entzünden sich.

Eine sehr bequeme Geräthschaft, um die Wirkung der electrischen Entladung auf einen Körper zu prüfen, ist der Henley'sche allgemeine Auslader (Fig. 116). Zwei Metallstäbe sind auf isolirenden Stützen nach jeder Richtung

Fig. 116.



beweglich und können mit ihren nach Erforderniss kugelförmigen oder zugespitzten Enden in beliebige Nähe zusammengerückt werden. Zwischen dieselben bringt man den Körper. Der eine Stab wird dann mit der äusseren Belegung der Leidner Flasche in leitende Verbindung gesetzt, der andere dem Knopfe der Flasche bis zum Ueberschlagen des Funkens genähert. Um z. B. Eisendraht zu verbrennen, windet man denselben um beide kugelförmige Enden der Stäbe. Man verschafft sich Draht von erforderlicher Dünne durch Eintauchen von Klavierdraht in verdünnte Salpetersäure. — Soll eine Glasscheibe durchbohrt werden, so lässt man die Stäbe des Ausladers in scharfe Spitzen ausgehen, zwischen welche die Scheibe gesetzt wird. Leidner Flaschen, deren Glaswände an verschiednen Stellen ungleiche Dicke haben, werden zuweilen durch Selbstentladung durchbohrt. Das Loch, welches der electrische Schlag in einer Glasscheibe oder in Spielkarten bewirkt, zeigt sich stets, wie wenn es aus der Mitte nach beiden Aussenflächen aufgerissen sei; insbesondere bemerkt man auf beiden Seiten der durchbohrten Spielkarte einen ausgebognen Rand. — Streut man gepulvertes Colophonium oder Schiesspulver zwischen beide Entladungsstäbe auf das Tischchen des allgemeinen Ausladers, so wird es durch den überschlagenden Funken einer stark geladenen Flasche entzündet. Aether lässt sich schon durch einen aus dem Conductor gezognen Funken in Flamme setzen. Man giesse zu dem Ende etwas Aether auf Wasser in ein ausserhalb trocknes Glas, in welches ein von dem Conductor der Maschine ausgehender Metalldraht eingesenkt ist. Nähert man hierauf einen Knöchel, so entzündet der aus der Flüssigkeit austretende Funken zuerst den Aetherdampf und dadurch den Aether selbst. Wasserstoffgas, gemengt mit Luft oder Sauerstoff, wird durch den schwächsten durchfahrenden electrischen Funken entzündet. Hierauf beruht die bekannte electrische Pistole; so wie das Eudiometer von Volta.

In feuchter Luft, zumal bei vermindertem Luftdrucke, bewirkt der electrische Funken eine theilweise Erzeugung von Salpetersäure. In dem Glas-

Fig. 117.

rohr *a*, dessen unteres offenes Ende über Quecksilber abgeschlossen ist, befindet sich etwas durch Lackmus gefärbtes Wasser oder eine Lösung von Aetzkali. Das obere Ende ist luftdicht verschlossen aber von einem Metalldraht durchsetzt, der mit einem vergoldeten Knopfe endigt. Lässt man durch diesen Letzteren während mehrerer Stunden einen Strom von Funken in die Flüssigkeit übertreten, so vermindert sich das Luftvolum und die blaue Flüssigkeit wird roth gefärbt oder die Kalilauge, wie Cavendisch zuerst gezeigt hat, wird salpeterhaltig. Diese Bildung von Salpetersäure geht um so schneller vor sich, je mehr man durch Hervorheben des Rohrs aus dem Quecksilberbehälter die eingeschlossne Luft verdünnt hat.

Der Widerstand, den die Luft dem überspringenden Funken entgegensetzt, vermindert sich bei abnehmender Dichtigkeit derselben dergestalt, dass in einem Raume, worin man die Luft verdünnt, die Schlagweite, nämlich die Entfernung, bis zu welcher der Funken noch übergeht, zunimmt.

Wenn man aus einem Glascylinder von beliebiger Länge, der an beiden Enden durch Metallplatten hermetisch geschlossen ist, die Luft so weit auszieht, als es mittelst einer guten Luftpumpe möglich ist, so strömt die Electricität vom einen Ende zum andern fast ohne Widerstand zu finden und unter Entwicklung eines matten, bläulichen Lichtes, das den ganzen inneren Raum zu erfüllen scheint. Man sagt daher: der leere Raum leite die Electricität. Durch die von Luft ganz freie Barometerleere bewegt sich die Electricität mit derselben Leichtigkeit, aber unter Erscheinung eines grünlichen Lichtes, das man dem Erglühen von Quecksilberdämpfen zuschreibt.

Condensator.

320. Wenn man zwei dünne, ebne Glasplatten, jede nur auf einer Seite, mit Stanniol überzieht und dann die beiden unbedeckten Flächen auf einander legt, so erhält man einen der Fränklin'schen Tafel ganz ähnlichen Apparat, der, wie jene, mit beiden Electricitäten geladen und durch gleichzeitige Berührung beider Belegungen wieder entladen werden kann. Trennt man nach vollbrachter Ladung beide Glasscheiben isolirt und ohne vorher ihre metallischen Ueberzüge in leitende Verbindung zu bringen, so werden die auf ihnen verdichteten Electricitäten frei und können dann, jede für sich geprüft werden.

Diese Geräthschaft wird Condensator (Electricitäts-Verdichter) genannt. Die verdichtende Kraft des Condensators ist um so bedeutender, je geringer die Dicke der zwischen beiden Metallflächen befindliche Glastafeln (311). Da das Glas hier nur als Isolirungsmittel dient, so kann es auch durch andere Nichtleiter, z. B. dünne Harzscheiben ersetzt werden. Das einfachste Mittel, eine recht dünne und ebne Harzscheibe zu erhalten, besteht darin, eine eben geschliffene Metallplatte, heiss, mit Schellackfirniss zu überziehen. Die wirksamsten Condensatoren bestehen daher aus zwei solchen Metallscheiben, die mit ihren gefirnissten Flächen auf einander gelegt werden.

Man pflegt die eine Platte in wagerechter Lage auf einem

Electrometer mit zwei Pendeln zu befestigen, und setzt die andere Platte, welche mit einer isolirenden Handhabe versehen sein muss, darauf. Leitet man nun z. B. + E. auf die untere Platte (Collector-Platte), während man die obere (die Deckelplatte) mit dem Finger berührt, so wird der Condensator geladen, und zwar ohne bemerkbare Einwirkung auf das Electrometer. Entfernt man hierauf die obere Platte, so wirkt die ganze angesammelte und nunmehr frei gewordene + E. auf die Goldblättchen.

Der Condensator wird hauptsächlich gebraucht, um Electricität, die, wiewohl in reichlicher Menge vorhanden, wegen zu geringer Dichtigkeit von dem Electroscope nicht angezeigt wird, zu verdichten und dadurch ihre Einwirkung auf das Etectrometer zu vergrössern. Der Grad der Condensation, der auf diesem Wege erreicht werden kann, ist für ein gegebenes Instrument nicht willkürlich, sondern stets der Dichtigkeit, welche das zu verdichtende Fluidum in seiner Quelle besitzt, proportional (318). Die auf der Collectorplatte angehäufte Electricität beträgt z. B. bei einem gegebenen Condensator das 50fache, bei einem andern das 100fache derjenigen Electritätsmenge, welche ohne Mitwirkung der zweiten Platte sich darauf hätte verbreiten können.

Es könnte scheinen, dass es überflüssig sei, beide Platten mit Schellackfirniss zu bekleiden, und dass durch Entfernung des einen dieser Ueberzüge, wegen der dadurch verringerten Dicke der nicht leitenden Schicht, die verdichtende Kraft des Condensators bedeutend verstärkt werden müsse; diess ist jedoch nicht der Fall. — Eine nur auf der einen Seite mit Stanniol bedeckte Spiegelplatte werde, die Metallfläche nach unten, auf den Tisch gelegt; auf die obere freie Seite des Glases setze man ein mit isolirendem Handgriffe versehene, reine und eben abgeschliffene Messingscheibe. Man erhält auf diese Weise eine dem Condensator ähnliche Vorrichtung, welche, wenn man die Deckelplatte mit dem Conductor der Maschine verbindet, geladen werden kann, und dann durch Verbindung beider metallischen Belegungen, einen der Stärke der Ladung entsprechenden electrischen Schlag bewirkt. Wird die Messingplatte vor erfolgter Entladung abgehoben, so wird sich kaum mehr Electricität darin vorfinden, als sie unmittelbar durch Berührung des Conductors aufnehmen konnte. Auf die Glastafel zurückgebracht und mit der unteren Belegung verbunden, erhält man gleichwohl einen starken electrischen Schlag. Die ganze vom Conductor der Maschine abstammende Electritätsmenge war also noch vorhanden, sie hatte aber, in Folge der anziehenden und bindenden Kraft ihres Gegensatzes in der unteren Belegung, die Messingplatte grösstentheils verlassen und sich im Glase selbst eingenistet. Durch das Abheben der Deckelplatte konnte daher nur die noch verhandene freie Electricität mit entfernt werden. Die Electricitäten, welche sich auf beiden Glasflächen festgesetzt haben,

können bei der Entladung nur theilweise zu einander übertreten, ein beträchtlicher Theil wird vermöge des zusammengesetzten Einflusses, der nicht leitenden Beschaffenheit des Glases und der wechselseitigen Bindung beider entgegengesetzten Kräfte, selbst dann zurückgehalten, wenn beide Metallbelegungen in fortdauernd leitender Verbindung bleiben. Dieser zurückbleibende Theil ist um so beträchtlicher, je weniger innig die Berührung der Deckelplatte mit der Oberfläche des schlechten Leiters. Gewöhnlich ist das eine Princip im Uebergewichte vorhanden, und dadurch die Gegenwart des andern verdeckt. Auf die in Paragraph 315 beschriebene Weise können jedoch beide leicht nachgewiesen werden.

Auch bei der Leidner Flasche bewirkt das Bestreben beider electrischen Flüssigkeiten, einander so nahe wie möglich zu kommen, dass sie sich nicht sowohl in den Metallbelegungen als vielmehr auf den Glasflächen darunter ansammeln. Die metallische Hülle, mit der Glasfläche in inniger Berührung, dient dann gleichsam nur, um im Augenblicke der Verbindung beider Belegungen, den gleichzeitigen Abfluss der Electricität, von allen Puncten, wo sie sich festgesetzt hatte, zu vermitteln. Der Rücktritt beider Flüssigkeiten aus dem Glase geht gleichwohl nicht ohne Widerstand vor sich und so erklärt es sich, dass die vollständige Entladung der Leidner Flasche immer eine gewisse messbare Zeit erfordert, während der beide Belegungen in Berührung bleiben müssen. Daher findet man fast immer, dass die auf gewöhnliche Art entladene Flasche noch eine zweite schwächere Ladung und zuweilen selbst noch eine dritte und vierte enthält.

Electrophor.

321. Der Electrophor oder Electricitätsträger ist eine dem Principe nach mit dem Condensator und der Fränklin'schen Tafel verwandte Geräthschaft. Er besteht aus drei wesentlichen Theilen: einer möglichst dünnen und ebenen Harzscheibe von beliebigem Durchmesser, dem Kuchen, einer metallischen Unterlage, die Form oder der Teller genannt, und einer metallischen Deckelplatte mit isolirendem Handgriffe.

Harz in trockner Luft behauptet den electrischen Zustand lange Zeit mit fast unveränderter Stärke. Wird eine unelectrische und isolirte Metallplatte auf eine electrische Harzscheibe gesetzt und gleich wieder abgehoben, so bleibt sie unelectrisch. Die Electricität des Harzes wirkt gleichwohl vertheilend auf die im Metalle im natürlichen Zustande vorhandenen Electricitäten. Berührt man daher die Deckelplatte mit dem Finger, so geht das gleichartige Fluidum fort, das ungleichartige wird gebunden und kann dann durch Abnehmen des Deckels ebenfalls in den freien Zustand versetzt werden. Dieser Versuch lässt sich beliebig oft mit stets gleichem Erfolge wiederholen. Der Kuchen des Electrophors bietet also während einiger Zeit (so lange ihm seine electrische Beschaffenheit nicht durch äussere Einflüsse entzogen worden) einen Electricitätsquell von unveränderter Stärke, welcher in jedem Augenblicke

zur Verfügung steht. Dieser Quell würde aber ohne die Mitwirkung des Tellers wenig ergiebig sein.

Sobald der Harz-Kuchen mit einem trockenen Fuchsschwanze oder Katzenpelze gerieben wird, beginnt die auf seiner Oberfläche entwickelte — E. das electrische Gleichgewicht der Metall-Unterlage zu stören; — E. fliesst in den Boden ab, + E. wird gebunden, und bindet ihrerseits einen Theil der an der Oberfläche des Harzes durch Reiben erregten — E. Die letztere verliert dadurch von ihrer Wirksamkeit nach Aussen und hängt fester an dem Harze. Durch fortgesetztes Reiben können daher neue Electricitätsmengen erzeugt und auf dem Kuchen, weit über diejenige Gränze hinaus, welche man ohne Mitwirkung des Tellers zu erreichen vermag, angehäuft werden.

Nach und nach, sogar schon während des Reibens, wird die untere Fläche des Kuchens selbst positiv electrisch und in dem Verhältniss, als es geschieht, verschwindet der positiv electrische Zustand der Form.

Man stelle ein kleines Electrophor auf die Metallplatte eines Electroscops. Unmittelbar wird keine Einwirkung auf das letztere bemerkbar sein. Der Deckel, in unelectrischem Zustande auf den Harzkuchen gesetzt und isolirt wieder entfernt, bleibt unelectrisch. Verbindet man aber den Deckel, während er auf dem Kuchen ruht, mit einem zweiten Electroscop, so divergiren die Pendel des letzteren mit — E. Wird diese — E. in den Boden abgeführt, so zeigt sich freie + E. in dem Teller, während eine verhältnissmässige Menge des gleichartigen Fluidums in der Deckelplatte gebunden wird. Diess ist nun die Gränze der Ladung, welche der oberen Platte ohne Beihülfe einer gut leitenden Unterlage ertheilt werden kann.

Jetzt leite man die in dem Teller frei gewordene + E. in den Boden ab; die Pendel des zweiten Electroscops werden von Neuem mit — E. divergiren, und durch Ableitung derselben verstärkt sich die positive Ladung des Deckels, während die Form wieder mit freier + E. behaftet erscheint. Dieser Versuch lässt sich mehrmals mit abnehmendem Erfolge wiederholen, so lange bis die Menge der in dem Deckel gebundenen + E. der bindenden Kraft, der ganzen auf der Harzfläche durch Reiben erzeugten — E. entspricht und gleichzeitig die in der unteren Fläche des Kuchens fixirte + E. durch Bindung einer verhältnissmässigen Menge von — E. der Form, Beschäftigung gefunden hat. Nach vollendeter Ladung erscheint daher der Deckel des Electrophors mit + E., der Teller (von dem Kuchen isolirt entfernt) mit — E., wiewohl in schwächeren Grade, geladen.

Zu dem Harzkuchen nimmt man gewöhnlich 8 Theile Colophonium, 1 Theil Schellack und 1 Theil venetianischen Terpentin, welche durch Schmelzen vermischt und noch flüssig in den Teller, der zu diesem Zweck mit einem 2 — 3 Linien hervorstehenden Rande versehen ist, eingegossen werden. Kuchen, die

auf dem Teller frei aufliegen sollen, können aus Schellack, mit 10 Procent Terpentin vermischt, angefertigt werden. Sie sind isolirender. Dem Deckel pflegt man einen geringeren Durchmesser zu geben, als dem Kuchen, weil sonst bei dem Abheben der Funke leicht auf die Form überspringt.

Der Condensator und der Electrophor sind Erfindungen Alexander Volta's.

Gesetze der electrischen Anziehungen und Abstossungen.

322. Die geringe Beständigkeit electrischer Zustände, insbesondere die Schnelligkeit, womit freie Electricität von guten Leitern auch bei der zweckmässigsten Isolirung entweicht, macht eine scharfe Messung der Grösse electrischer Einwirkungen zu einer höchst schwierigen, bis jetzt nur unvollkommen gelösten Aufgabe. Was hierüber bekannt ist, reicht gleichwohl aus, um über die Gesetze, nach welchen die Wirksamkeit der freien Electricität sich richtet, keinen Zweifel zu lassen. So hat man gefunden:

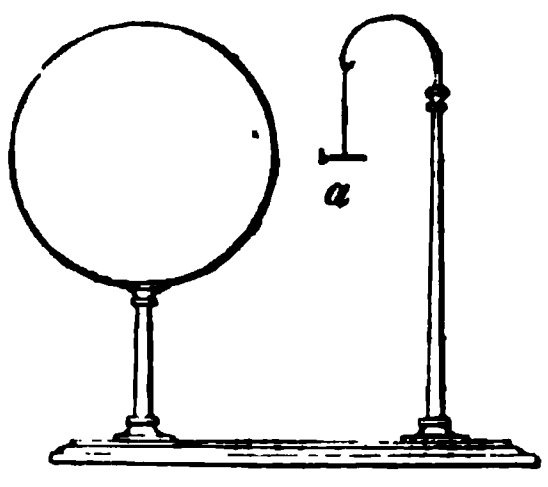
1. Die Stärke der Abstossung gleichartiger, so wie die der Anziehung ungleichartiger electrischer Kräfte, steht im verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung ihrer Angriffspuncte.

2. Die Wirkungen eines electrischen Körpers sind den Electricitätsmengen proportional, womit er behaftet ist.

3. Die Stärke der wechselseitigen Anziehungen oder Abstossungen zweier mit Electricität behafteten Körper, stehen bei unverändertem Abstande im zusammengesetzten Verhältnisse der auf beiden Körpern vorhandenen Electricitätsmengen.

Die von den electrischen Körpern ausgehenden Kräfte richten sich also hinsichtlich der Intensität ihrer Wirksamkeit nach ganz ähnlichen Gesetzen wie die magnetischen Kräfte.

Fig. 118.



323. Das einfachste und doch zugleich eines der genauesten electrischen Messwerkzeuge ist die electrische Nadel. Sie besteht aus einem sehr dünnen 1—1½ Zoll langen Stäbchen von Schellack *a* (Fig. 118), das an einem einzigen Coconfaden wagerecht aufgehängt ist und am einen Ende ein sehr leichtes, kreisrundes Metallblättchen oder eine kleine Scheibe von Goldpapier trägt. Wenn man diesem Scheibchen Electricität mittheilt, so wird es von andern electrischen Körpern, je nachdem sie mit dem gleichnamigen oder ungleichnamigen Fluidum behaftet sind, abgestossen oder angezogen. Die Nadel, aus ihrer Ruhelage gebracht, beginnt daher zu schwingen. Aus der Zeit, welche zur Vollendung einer gewissen Anzahl Schwingungen nöthig ist, lässt sich dann die relative Stärke der Einwirkung (auf ähnliche Weise, wie früher (283) die

Intensität magnetischer Kräfte aus den Schwingungen der Magnetnadel) berechnen. — Wegen der Kleinheit und Dünne des Scheibchens kann man seinen Mittelpunct als gemeinschaftlichen Angriffspunct der in ihm thätigen electrischen Kräfte annehmen.

Vermittelst dieser Vorrichtung hat zuerst Coulomb die obigen Gesetze experimentell geprüft. Er stellte eine isolirte Kugel von Metallblech, oder auch von Pappe mit Metallpapier überzogen, so der Nadel gegenüber, dass wenn diese in ihrer Ruhelage war, die gerade Linie, welche ihren Aufhängepunct mit dem Mittelpuncte der Scheibe verband, zugleich durch den Mittelpunct der Kugel ging. Die Letztere hielt 12 Zoll im Durchmesser; ihr Fuss war auf einem, in Zolle getheilten Brette in gerader Linie verrückbar, wodurch es möglich wurde, ihren Abstand von der Nadel beliebig zu verändern.

Der Kugel wurde Electricität von der einen Art, der kleinen Scheibe von der andern Art mitgetheilt. Die Menge, welche die letztere erhielt, musste aber wenigstens eben so viel betragen, als durch Vertheilung möglicher Weise in ihr ausgeschieden werden konnte. Um diesen Zweck sicher zu erreichen, rückt man die electrische Kugel etwas näher zu dem Pendel hin, als sie später während der Beobachtungen stehen soll, und berührt das Scheibchen einen Augenblick mit einem Leiter. Die Kugel wurde dann in thunlichst kurzer Zeit in verschiedene Abstände zu der Nadel gebracht, und in jeder dieser Stellungen die für eine gewisse Anzahl Schwingungen erforderliche Zeit gemessen.

Bei einer Versuchsreihe z. B. fand Coulomb, dass wenn die Entfernung des Mittelpunctes der Kugel vom Mittelpuncte der Scheibe von anfänglich 9 Zoll auf 18 und 24 Zoll vergrössert wurde, die zu je 15 Schwingungen erforderlichen Zeiten, 20 Secunden, 41 und 60 Secunden betrugen. Die Quadrate dieser Zeiten die Zahlen 400, 1681 und 3600, verhalten sich fast wie $1 : 4 : 9$; die Intensitäten der Anziehung, welche den Quadratzahlen der Schwingungszeiten umgekehrt proportional sind (148), waren daher (die beim ersten Versuche der Einheit gleich gesetzt), $1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{9}$. Diesen Kräften müssen nun, wenn anders die electrischen Wirkungen bei zunehmender Entfernung in quadratischem Verhältnisse abnehmen, Abstände zugehören, die sich wie $1 : 2 : 3$ verhalten.

Es ist eine natürliche Folge der regelmässigen Gestalt eines kugelförmigen Leiters, dass die demselben ertheilte Electricität sich ringsum auf ganz gleichförmige Weise ausbreiten muss, d. h. an verschiedenen Stellen der Kugel, die in gleichem Abstande vom Mittelpuncte liegen, herrschen ganz gleiche electrische Kräfte. Der Mittelpunct muss daher der gemeinschaftliche Angriffspunct aller dieser anziehenden Kräfte seyn; wenn nämlich ihre Wirksamkeit bei zunehmender Entfernung nach demselben Gesetze abnimmt wie die Schwere.

Nun war der Abstand des Mittelpunctes der Scheibe von dem der Kugel bei dem ersten Versuche 9 Zoll; beim zweiten sollte er hiernach $2 . 9 = 18$, beim dritten $3 . 9 = 27$ Zoll seyn. Nur bei dem dritten Versuche zeigte sich eine merkliche Verschiedenheit. Die Nadel durfte um 15 Schwingungen in 60 Secunden zurückzulegen nur 24 Zoll entfernt stehen. Allein dieser dritte Versuch war der zuletzt angestellte; bis dahin war bereits ein Theil der Electricität fortgegangen. In der That würde z. B. eine Wiederholung des ersten Versuches nach Beendigung des dritten, nicht mehr dasselbe Resultat liefern, als anfänglich; bei 9 Zoll Abstand würden 15 Schwingungen mehr als 20 Secunden Zeit erfordern.

Die Schnelligkeit der Schwingungen hängt also nicht blos von der Grösse des Abstandes ab, sondern auch von der Stärke der Ladung beider einander gegenüberstehenden electrischen Körper. Um zu erfahren, wie viel jeder dazu beiträgt, berühre man die electrische Kugel, ohne ihren Abstand vom Pendel zu ändern, mit einer andern nicht electrischen, von durchaus gleicher Grösse und Beschaffenheit, und ebenfalls isolirt. Es ist klar, dass beide sich in die vorhandne Electricitätsmenge theilen werden. Hatte nun die Nadel die Zahl von

15 Schwingungen vorher in 20 Secunden vollendet, so wird sie jetzt (nachdem die Kugel die Hälfte ihres Vorraths an freier Electricität verloren hat) 28,5 Secunde dazu bedürfen. Die Intensitäten der Einwirkung in beiden Fällen verhalten sich also umgekehrt wie $(20)^2 : (28{,}5)^2 = 400 : 812$; d. h. wie 2 : 1.

Entzieht man der kleinen Scheibe die Hälfte ihrer Electricität, indem man sie einen Augenblick mit einer andern von gleicher Grösse und gleichem Stoffe, die ebenfalls in der Mitte an einem Schellackstäbchen befestigt ist, in Berührung bringt; so findet man, unter Voraussetzung, dass die Kugel von ihrem anfänglichen Vorrathe nichts eingebüsst hatte, dass sich die Stärke der Einwirkung wie vorher um die Hälfte vermindert hat.

Zu der Gesammtstärke der wechselseitigen Anziehung zweier ungleichnamig electrischen Körper betheiligen sich also beide in ganz gleicher Weise, jeder nämlich in geradem Verhältnisse zur Electricitätsmenge, womit er beladen ist. Bezeichnet man mit s und s′ die absoluten Mengen von Electricität zweier Körper, mit d die Entfernung der Mittelpuncte ihrer Wirksamkeit, so ist die Stärke dieser Wirksamkeit dem Ausdrucke $\frac{s\,s'}{d^2}$ proportional zu setzen.

Aus den Schwingungen der kleinen Nadel lässt sich auf ähnliche Weise die Folgerung ziehen, dass die Abstossung gleichnamiger Electricitäten dem Ausdrucke $\frac{s\,s'}{d^2}$ proportional ist. Zu dem Ende muss das Scheibchen in der Ruhelage von der Kugel abgewendet seyn; man ertheilt letzterer Electricität von gewisser Art und gibt dann dem Scheibchen, indem man es einen Augenblick mit der Kugel in leitende Verbindung setzt, dieselbe electrische Beschaffenheit.

Zur Auffindung oder vielmehr zur experimentellen Begründung der Gesetze der electrischen Einwirkungen hat Coulomb mit gleichem Erfolge auch seine Drehwage benutzt (Biot traité de phys. II. 224). Seine Versuche sind seitdem vielfach wiederholt und bestätigt worden.

324. **Electrometer.** Der Name Electrometer kann zwar mit gleichem Rechte jeder zu electrischen Messungen geeigneten Vorrichtung gegeben werden; gewöhnlich versteht man aber darunter eine dem Electroscope mit zwei Pendeln ähnliche Geräthschaft, die sich von jenem eigentlich nur dadurch unterscheidet, dass ein Gradebogen daran angebracht ist, um die Grösse der Ausschläge zu messen.

Um die Anzeigen des Electrometers vergleichbar zu machen, gibt es kein anderes brauchbares Mittel, als vergleichende Versuche. Diese können z. B. auf folgende Art angestellt werden. Eine grosse, etwa 12 Zoll im Durchmesser haltende, isolirte Kugel wird mässig stark electrisirt. Bringt man damit ein Metallblättchen von nur 5 Linien Durchmesser, welches mittelst eines langen und dünnen Schellackstäbchens isolirt ist, in Berührung, so wird demselben von dem gleichnamigen Fluidum mitgetheilt. Dieser Versuch kann oft wiederholt werden, ohne dass die Kugel merklich dadurch verliert. Das isolirte Blättchen, nachdem ihm die vorher mitgetheilte Electricität entzogen worden, empfängt also bei erneuerter Berührung mit der Kugel, eine gleiche Menge immer wieder.

Wenn man die kleine isolirte Scheibe in die Mitte der Electrometerplatte setzt, so verliert sie ihren Gehalt an electrischer Flüssigkeit fast bis auf die letzte Spur; ein Versuch der mit gleichem Erfolge sehr oft wiederholt werden kann. Hierdurch ist daher ein

Mittel gegeben, proportionale Mengen von Electricität auf das Electrometer zu übertragen. Indem man den jedesmal erfolgenden Ausschlag bemerkt, lässt sich dann wieder rückwärts auf den Betrag an freier Electricität schliessen, der durch irgend äussere Einflüsse in dem leitenden Systeme des Instrumentes angehäuft wurde. Man hat auf diesem Wege gefunden, dass Ausschläge der Electrometer-Pendel von nur wenigen Graden den mitgetheilten Electricitätsmengen proportional sind. Erfolgt z. B. ein Ausschlag von 8°, so muss in dem leitenden Systeme 8mal so viel Electricität enthalten seyn, als wenn die Divergenz nur 1° betragen hätte. Bei stärkeren electrischen Anhäufungen bleibt die Zunahme des Ausschlags hinter derjenigen der mitgetheilten Electricitätsmenge zurück.

Es ist nach den vorhergehenden Erörterungen einleuchtend, dass mittelst des Electrometers unmittelbar nicht die electrische Spannung gemessen wird, sondern die Menge Electricität, welche durch irgend welche Ursache in den Pendeln frei geworden ist.

Beispiel: Eine isolirte electrische Kugel in der Nähe des Electrometers aufgestellt, wirkt vertheilend auf die im natürlichen Zustande befindlichen Electricitäten desselben. Das ungleichnamige Fluidum wird angezogen und gebunden, eine verhältnissmässige Menge des gleichnamigen wird frei und treibt die Pendel aus einander. Der Ausschlag betrage z. B. 6°. Man berühre die Kugel mit einer andern von gleicher Grösse und Beschaffenheit und entziehe ihr dadurch die Hälfte ihrer Electricität. Der Ausschlag wird sich bis auf 3° vermindern, zum Beweise, dass jetzt in den Goldblättchen nur noch halb so viel freie Electricität vorhanden ist, als vorher.

Um das Gesetz zu erkennen, nach welchem die vertheilende Kraft der freien Electricität bei zunehmender Entfernung sich vermindert, stelle man in einigem Abstande von der grossen isolirten Kugel eine kleinere von höchstens 1 Zoll Durchmesser so auf, dass ihre Mittelpuncte in gleicher Höhe liegen. Man theile der grösseren Electricität von der einen oder andern Art mit und berühre dann die kleinere einen Augenblick mit dem Finger. Ungleichnamige wird gebunden, und ihre Menge kann durch Uebertragung auf das Electrometer gemessen werden. Verdoppelt man hierauf den Abstand der Mittelpuncte beider Kugeln, ohne den electrischen Zustand der grössern zu ändern, so vermindert sich die Electricität, welche in der kleinern gebunden werden kann, auf $\frac{1}{4}$ der früheren Menge; denn der Ausschlag des Electrometers, unter ähnlichen Umständen wie vorher, ist nur $\frac{1}{4}$ so gross.

Fig. 3, Platte III. zeigt die vordere Ansicht eines Goldblatt-Electrometers in $\frac{1}{5}$ natürlicher Grösse. Das viereckige Glasgehäuse ist aus Spiegelplatten gebildet, welche an den Kanten verkittet und oben und unten durch Messingkappen zusammengehalten sind. Der Gradebogen ist auf einem Papierstreifen aufgetragen und auf der vorderen Glasplatte mit Mundleim befestigt. Er bildet ein Stück eines Kreises, dem der Aufhängepunct der Pendel, oder richtiger die Projection dieses Punctes auf die Glasfläche, als Mittelpunct zugehört. Ein feiner durch diesen Punct lothrecht abwärts auf das Glas gezogener Diamantstrich durchschneidet den Nullpunct der Scala. Er dient, um während der Beobachtung dem Auge die richtige Stellung zu geben. Um mit diesem Instrumente vergleichbare Beobachtungen erhalten zu können, darf der Gradebogen nicht weit vor den Pendeln stehen, das Auge muss man aber so weit entfernt halten, als es irgend die deutliche Sehweite erlaubt. Immer bleibt das Electrometer in Betreff der Schärfe seiner Anzeigen hinter der electrischen Nadel und der Drehwage weit zurück. Dagegen besitzt es den Vorzug, dass die damit an-

gestellten Messungen eine grössere Anschaulichkeit gewähren; es eignet sich daher mehr zu Vorlesungs-Versuchen. In der Bodenplatte des Electrometers befindet sich ein Loch, das zu dem Innern einer Schieblade führt, worin sich einige Stücke Chlorcalcium befinden. Dadurch wird die die Goldblättchen umgebende Luft trocken erhalten. Es ist diess sehr wesentlich, weil sich das electrische Fluidum an dem Rande dieser langen und schmalen Goldstreifen gerade am stärksten verdichtet und von hier aus am leichtesten entweicht.

Vertheilung freier Electricität im Ruhezustande.

325. So oft einem isolirten Leiter Electricität, wenn auch unmittelbar nur von einer einzigen Stelle entzogen oder mitgetheilt wird, vermindert oder vermehrt sich gleichwohl an jeder Stelle seiner Oberfläche die Dichte der darauf verbreiteten electrischen Flüssigkeit, und zwar überall auf proportionale Weise. Ist z. B. überhaupt die Hälfte des vorhandenen Fluidums fortgegangen, so hat sich die Dichte desselben an jeder Stelle um die Hälfte vermindert.

Ein beliebig gestalteter isolirter Leiter werde mit Electricität geladen und die Wirkung derselben auf die Nadel oder auf das Electrometer bei einem festen Abstande gemessen. Mit diesem Leiter bringe man hierauf einen zweiten noch unelectrischen von ganz gleicher Gestalt und Beschaffenheit, beide an analogen Stellen, in Berührung. Es ist einleuchtend, dass unter diesen Umständen der Vorrath an freier Electricität sich gleichmässig auf beide Körper vertheilen muss. Man entferne den zweiten und messe bei unveränderter Lage des ersten seine electrische Wirksamkeit. Sie zeigt sich nur halb so gross als vorher. Da nun die Wirkungen der Electricität nicht bloss von der vorhandnen Menge, sondern auch von dem Abstande des gemeinschaftlichen Angriffspunctes sämmtlicher thätigen Kräfte abhängen, so folgt, dass die Lage dieses Punctes sich nicht geändert hat, indem dem Körper ein Theil seines electrischen Fluidums entzogen wurde; oder mit andern Worten, es folgt hieraus, dass die Dichtigkeit der Electricität an jeder Stelle des Leiters auf proportionale Weise vermindert worden ist.

Jedes electrische Theilchen, womit ein Körper behaftet ist, wirkt abstossend auf die gleichnamige electrische Flüssigkeit in seiner Umgebung, während es ungleichnamige anzuziehen und sich damit zu verbinden strebt; beides mit einer Stärke, welche dem Quadrate des Abstandes verkehrt proportional ist. Auf einen beliebig gewählten Punct eines electrisirten Leiters wirkt folglich eine electrisch vertheilende Kraft, deren Stärke gleich ist den Resultanten der Einwirkungen aller auf diesem Körper verbreiteten electrischen Kräfte. Die Bedingung des Gleichgewichts erfordert demnach, dass in jedem Puncte desselben gerade so viel von dem gleichnamigen Fluidum angehäuft sey, als durch die von allen andern Puncten her einwirkenden vertheilenden Kräfte hätte ausgeschieden werden können. Ist an irgend einer Stelle bereits mehr vorhanden, so verbreitet sich dieser Ueberschuss über andere Theile des Leiters; ist weniger da, so findet Zufluss Statt, dergestalt, dass nach eingetretenem Ruhezustande sich freie Electricität nur von einer Art vorfinden kann, und zwar an jedem Puncte des Leiters in solcher Menge, als der Resultanten der Einwirkungen aller übrigen vorhandnen electrischen Theile auf diesen Punct entspricht. Jede Zunahme oder Abnahme der electrischen Dichtigkeit muss daher gleichmässig an allen Puncten der Leiter eintreten.

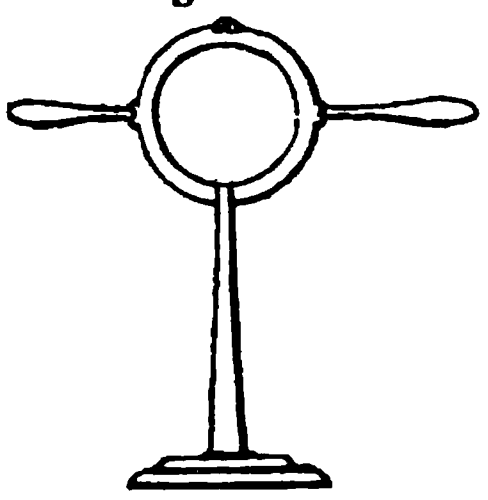
326. Die Electricität verbreitet sich auf Leitern von gleicher Gestalt und Grösse, von welcher sonstigen Beschaffenheit sie seyn mögen, auf ganz gleiche Weise. Berührt man z. B. eine mit

Electricität behaftete Kugel von Metallblech mit einer andern nicht electrischen von gleichem Durchmesser, so verliert sie gerade die Hälfte ihrer Electricität, mag nun die zweite Kugel ebenfalls hohl oder gefüllt, die Materie ihrer Oberfläche dieselbe oder eine andere seyn, mag ihr innerer Raum Metall, oder Holz, oder Wasser, oder sonst irgend einen Leiter enthalten. Dasselbe Verhalten findet Statt, wenn statt des kugelförmigen ein beliebig geformter electrischer Leiter mit einem andern unelectrischen von gleicher Gestalt, beide an analogen Stellen, in Berührung gebracht werden, mögen nun beide von gleichem oder verschiedenem Stoffe, hohl oder gefüllt seyn, nur müssen beide die Electricität leiten. Man muss hieraus schliessen: 1) dass die wägbare Materie der Körper auf die Electricität, welche sie enthalten, nicht die geringste anziehende Kraft oder irgend sonst eine Wirksamkeit äussert; 2) dass die den Leitern mitgetheilte freie electrische Flüssigkeit sich nur auf ihrer Oberfläche verbreitet.

Noch mehrere andere Erscheinungen beweisen, dass die freie Electricität im Innern der Leiter nicht verweilen kann.

Eine Messingkugel von 3—4 Zoll Durchmesser, isolirt und mit Electricität behaftet, so dass sie eine deutliche Wirkung auf das Electroscop hervorbringt, umgebe man mit zwei hohlen Halbkugeln von etwas grösserem Durchmesser (Fig. 119), die an isolirten Stielen gefasst werden und, zusammengestossen, die Kugel ganz umschliessen, setze die innere mit der äusseren Kugel einen Augenblick in Berührung und entferne dann die Halbkugeln bei sorgfältiger Vermeidung jeder weiteren Verbindung mit dem eingeschlossenen Leiter. Letzterer verliert dadurch den electrischen Zustand so vollständig, wie wenn er mit dem allgemeinen Ableiter in Verbindung gestanden hätte; das ihm entzogene Fluidum findet sich jedoch auf der leitenden Hülle, womit man ihn umgeben hatte.

Fig. 119.



Pendel, welche in der innern Höhlung eines isolirten Leiters eingeschlossen sind, aber mit der Oberfläche in Verbindung stehen, geben, selbst durch die stärkste Ladung, die man dem Körper ertheilen kann, keinen Ausschlag. Werden sie aber, bereits im electrischen Zustande, durch eine passende Oeffnung eingesenkt, so fallen sie in dem Augenblicke zusammen, da die leitende Verbindung mit der Oberfläche hergestellt ist.

Freie Electricität im Innern eines Leiters erfährt eine Abstossung von allen Seiten her. Gesetzt nun, diese Einwirkungen halten einander in Beziehung auf irgend einen Punct a im Innern nicht das Gleichgewicht (oder ihre Resultirende ist nicht Null), so kann auch die in a etwa befindliche freie electrische Flüssigkeit nicht in Ruhe bleiben. Ist der Punct von jeder Richtung her einer gleich starken electrischen Einwirkung unterworfen, so kann die in demselben vorhandene Electricität wegen der wechselseitigen Abstossung ihrer Theile gleichwohl nicht zur Ruhe kommen, ihre Fortbewegung müsste denn durch Leitungswiderstände verhindert werden. Besteht ein leitender Zusammenhang mit der Oberfläche, so muss sich alle auf die inneren Theile übertragene Electricität dorthin ziehen. Jeder Punct im Innern befindet sich daher nach eingetretenem Ruhezustande im natürlichen electrischen Zustande, so gross immerhin die an der Oberfläche angehäufte Menge electrischer Flüssigkeit seyn mag.

327. Die freie Electricität würde sich selbst an der Oberfläche der Leiter nicht ansammeln können, wenn sie nicht durch den Widerstand der Luft verhindert würde, sich weiter zu bewegen. Bei abnehmender Luftdichtigkeit vermindert sich die Summe widerstehender Theilchen; in verdünnter Luft haftet daher die Electricität viel weniger leicht und im leeren Raume gar nicht an der Oberfläche der Leiter. Eine unter der Luftpumpe isolirte Kugel von Messingblech verliert die ihr mitgetheilte Electricität, sowie die umgebende Luft entfernt wird (119).

328. Ein electrisches Theilchen an der Oberfläche eines Körpers wird von allen gleichartigen Theilchen, die über die Oberfläche desselben Körpers verbreitet sind, abgestossen, von jedem mit einer Stärke, die im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate der Entfernung steht. Diese verschiedenen Einwirkungen, da sie nicht alle in gleicher Richtung stattfinden können, heben sich theilweise auf, zum Theile aber auch ergänzen sie sich zu einer gemeinschaftlichen Wirkung, normal (winkelrecht) gegen diejenige Stelle der Oberfläche, an welcher das in Betrachtung gezogene Theilchen haftet. Gelangen an dieselbe Stelle mehrere Theilchen, d. h. erhält die electrische Flüssigkeit daselbst eine grössere Dichte, so ist die resultirende Abstossung der Summe vorhandener Theilchen, oder der Dichtigkeit an dem betrachteten Puncte proportional. Aber gleichzeitig mit der zunehmenden Dichte an einem Puncte der Oberfläche vergrössert sich auf proportionale Weise die Abstossung gegen jedes einzelne Theilchen an diesem Puncte, denn die Dichtigkeit der Electricität kann sich nicht an einer Stelle eines Leiters vermehren, ohne sich zugleich und auf proportionale Weise an allen andern Stellen desselben zu vermehren (325). Der Druck der ruhenden Electricität gegen sich selbst und ihre nicht leitende Umgebung, oder diejenige bewegende Kraft, welche electrische Spannung oder Tension (301) genannt wird, ist also an jeder Stelle eines electrisirten Leiters dem Quadrate der electrischen Dichtigkeit an dieser Stelle proportional.

Bei der atmosphärischen Luft verhält sich die Spannung (das Repulsionsvermögen der Theile) wie die Dichtigkeit. Bei den electrischen Flüssigkeiten ändert sich, wie man nunmehr sieht, die Spannung in einem weit grösseren Verhältnisse als die Dichtigkeit; der doppelten Dichtigkeit z. B. entspricht eine vierfache, der dreifachen Dichtigkeit eine neunfache Spannung u. s. w.

Die Divergenzen der Electrometerpendel entsprechen, wenigstens für kleine Bögen, den Dichtigkeiten der mitgetheilten Electricität und dürfen folglich nicht der electrischen Spannung proportional gesetzt werden.

Wenn zwei isolirte kugelförmige Leiter mit Electricität von gleicher Dichtigkeit beladen sind, so verhalten sich die Mengen dieses Fluidums auf beiden Körpern wie ihre Oberflächen, also wie die Quadrate der Halbmesser. Die Abstossung, welche ein electrisches Theilchen an der Oberfläche einer Kugel durch alle übrigen zu erleiden hat, verhält sich wie die ganze vorhandne Electricitätsmenge und verkehrt wie das Quadrat des Halbmessers (weil die Wirkung der um die Kugeloberfläche vertheilten Electricität gerade so ist, als be-

finde sich die ganze Menge derselben im Mittelpuncte vereinigt). Die electrische Spannung auf kugelförmigen Leitern von ungleicher Grösse, aber bei gleicher Dichtigkeit des auf ihren Oberflächen vertheilten Fluidums ist folglich gleich, so wie es vorher schon im Allgemeinen bewiesen worden war.

329. Zwei isolirte Leiter in Berührung bilden ein einziges leitendes System. Aus jeder Veränderung der electrischen Dichtigkeit auf der Oberfläche des einen, ist man daher berechtigt, auf eine proportionale Veränderung auf der Oberfläche des andern einen Schluss zu ziehen. Z. B. auf das Electrometer werden durch jede unmittelbare Berührung mit einem electrischen Körper Electricitätsmengen übertragen, welche den auf dem Körper selbst enthaltenen Mengen proportional sind.

Ist der eine von beiden isolirten Körpern ein kreisförmiges Scheibchen vom dünnsten Metallblech und von nur 5 — 7 Linien Durchmesser, und bedeckt man damit irgend eine Stelle der Oberfläche eines Leiters von verhältnissmässig sehr grossem Umfange, so befinden sich die auf dem letzteren vertheilten electrischen Kräfte, zu dem Scheibchen wesentlich in derselben Beziehung, wie zu der Stelle, welche es bedeckt; der electrische Zustand, den das erstere annimmt, muss daher von der Grösse derselben electrischen Kraft abhängig seyn, die aus der gemeinschaftlichen Wirksamkeit sämmtlicher vorhandenen electrischen Kräfte gegen die Berührungsstelle hervorgeht. Das Scheibchen, von dem Körper, den es berührte, wieder getrennt, wird also eine Electricitätsmenge aufgenommen haben, die der Dichtigkeit an der Berührungsstelle um so sicherer proportional gesetzt werden darf, je mehr man die Bedingung festgehalten hatte, dass die Fläche des Scheibchens nur einen verschwindend kleinen Theil vom Umfange des Körpers ausmacht.

Ein solches Scheibchen, mittelst eines langen und dünnen Stäbchens von reinem Schellack isolirt, kann daher als Hülfsmittel gelten, die Dichtigkeit der Electricität an verschiedenen Puncten der Oberfläche eines Leiters zu prüfen. Der Name Prüfungsscheibe, den Coulomb dieser kleinen Vorrichtung gegeben hat, wird hierdurch gerechtfertigt.

330. Die Art, wie sich freie Electricität auf einem isolirten und von äusseren Einflüssen entfernt stehenden Leiter vertheilt, hängt ganz von der Gestalt seiner Oberfläche ab. Eine gleichförmige Vertheilung findet nur auf der Kugeloberfläche Statt. Auf anders gestalteten Körpern häuft sich die Electricität, womit sie beladen werden, an verschiedenen Stellen ungleich dicht an. Sind z. B. zwei Kugeln in Berührung, so zeigt sich in der Nähe der Berührungsstelle auf beiden die geringste Dichtigkeit, die grösste aber an den entgegengesetzten Puncten. Sind beide von ungleicher Grösse und vergleicht man mittelst der Prüfungsscheibe ähnlich gelegene Stellen derselben, so findet man immer auf der kleineren die grössere electrische Anhäufung. Je kleiner eine Kugel ver-

hältnissmässig zur andern ist, je mehr wächst das Verhältniss der electrischen Dichtigkeit für ähnlich liegende Puncte, ohne jedoch den Werth 2 erreichen zu können. Indem man aber mehrere Kugeln an einander reiht, von denen die folgende immer kleiner wird als die vorhergehende, hat man es ganz in seiner Gewalt, die auf der kleinsten angesammelte Electricitätsmenge zu jedem beliebigen Grade zu verdichten und dadurch ihre Spannung, welche dem Quadrate der Dichtigkeit proportional ist, sogar bis zur Gränze des Widerstandes der Luft zu erhöhen. Auf dünnen kreisförmigen Platten nimmt die Dichtigkeit von der Mitte nach dem Rande erst sehr allmählig, in der Nähe des Randes aber plötzlich sehr stark zu, und erreicht am Rande selbst einen grössten Werth. — Auf dünnen Streifen und auf der Oberfläche prismatisch gebildeter Körper zeigt sich an den Kanten eine stärkere Anhäufung, als in einiger Entfernung von denselben; die stärkste und rascheste Zunahme bemerkt man aber in der Nähe der Enden. Eine solche plötzliche Zunahme der Dichtigkeit des electrischen Fluidums zeigt sich auch an den abgerundeten Enden cylindrisch gestalteter Leiter, zumal wenn sie lang und dünn sind, während auf den mittleren Theilen ihrer Oberfläche überall so ziemlich einerlei Dichtigkeit herrscht. Ueberhaupt findet man, dass die Electricität sich an den Theilen der Leiter, welche bei geringer Dicke am weitesten vorstehen, an etwa vorhandenen Ecken und Kanten, insbesondere aber an hervorragenden Spitzen am dichtesten anhäuft.

Auf einer kreisrunden Messingplatte von 10 Zoll Durchmesser fand Coulomb, die Dichtigkeit in der Mitte als Einheit genommen: 3 Zoll vom Rande 1,005; 2 Zoll vom Rande 1,17; 1 Zoll vom Rande 1,52; ½ Zoll vom Rande 2,07 und am Rande selbst 2,9. — Als er seine Prüfungsscheibe nach und nach auf verschiedene Puncte eines langen, dünnen Metallstreifens setzte und jedesmal den ihr mitgetheilten electrischen Zustand prüfte, hatte sie dicht am Ende noch einmal so viel Electricität aufgenommen als in der Mitte; in der ganzen übrigen Länge aber bis zu 1 Zoll Abstand vom Ende überall beiläufig eine gleiche Menge. Die Prüfungsscheibe über das Ende des Streifens hinausgeschoben, bis nur noch ihr äusserster Rand damit in Berührung blieb, bildete gleichsam eine Verlängerung beider Flächen des Streifens, daher sie in dieser Lage viermal so viel Electricität aufnahm, als in der Mitte.

Diese Vertheilungsverhältnisse zeigen sich ganz unabhängig von der Gesammtmenge vorhandnen electrischen Fluidums. Z. B. die Dichtigkeit in der Mitte eines langen und schmalen Streifens verhält sich zu der am Ende wie 1 zu 2, mag nun dieser isolirte Leiter schwach oder stark geladen seyn.

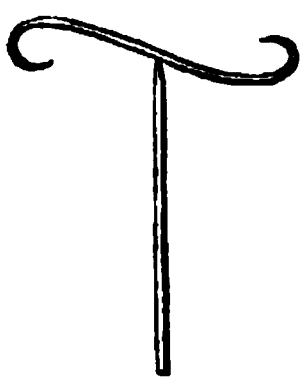
Die relative Menge electrischer Theilchen, die sich während des Gleichgewichtszustandes eines isolirten Leiters an irgend einem Puncte desselben vorfinden muss, steht in geradem Verhältnisse zur Stärke derjenigen electrischen Einwirkung (auf diesen Punct), zu welcher sich die Einzelwirkungen sämmtlicher über die Oberfläche des Körpers ausgebreiteter Theile des electrischen Fluidums zusammensetzen. Diese Resultante, bezogen auf Puncte im Innern, muss Null werden. Auf jeden Punct der Oberfläche eines Leiters erhält sie einen positiven Werth. Dieser Werth kann jedoch nur in Beziehung auf die Kugeloberfläche nach jeder Richtung hin gleich seyn. Man übersieht z. B. leicht, dass auf einer isolirten und mit Electricität beladenen Metallscheibe nur solche Stellen, die in gleicher Entfernung vom Mittelpuncte liegen, einer gleichen elec-

trischen Einwirkung ausgesetzt seyn können, so wie dass dieser Einfluss (nämlich die Resultirende aller vorhandnen Kräfte) vom Rande nach der Mitte hin abnehmen muss. — Eben so leicht begreiflich ist es, dass bei kegelförmigen Leitern die Dichtigkeit der Electricität nach dem Scheitelpuncte hin zunehmen und an diesem Puncte selbst am grössten werden muss, weil gerade an dieser Stelle die Resultante der über die conische Oberfläche verbreiteten electrischen Kräfte ihren grössten Werth erhält. Wird an irgend einer Steile der Oberfläche eines Leiters eine Spitze angebracht, so muss sich diejenige Electricitätsmenge, die erforderlich ist, der in dieser Richtung thätigen electrischen Einwirkung das Gleichgewicht zu halten, an dem spitzigen Ende, d. h. auf einer Fläche von verschwindend geringer Ausdehnung ansammeln; ihre Dichtigkeit und Spannkraft an diesem äussersten Puncte müsste daher, insofern sie durch einen Gegendruck von genügender Grösse zurückgehalten werden könnte, über jede messbare Gränze hinaus anwachsen.

331. Freie Electricität an der Oberfläche eines Leiters befindet sich, wie die Erfahrung lehrt, in keinem dauernden Gleichgewichtszustande. Sie vermindert sich selbst bei zweckmässig angeordneter Isolirung und in trockner Luft ziemlich rasch, und verschwindet bald bis auf die letzte Spur. Eine allmählige Ableitung, vermittelt durch die isolirenden Träger, erklärt wohl bei feuchter Luftbeschaffenheit (296), aber nicht in trockner Luft diese fortdauernden Verluste. Man weiss, dass eine trockne Siegellackstange von 8 — 10 Zoll Länge, durch längere Zeit anhaltendes Reiben am einen Ende, am andern nicht merklich electrisch wird. Auch hat man gefunden, dass eine Kugel von Messingblech von 1 Fuss Durchmesser, welche auf einer Schellacksäule von 8 Zoll Höhe und 1 Linie Durchmesser ruht, dadurch nicht vollkommener isolirt werden kann, als wenn man ihr mehrere, z. B. 3 solcher Stützen gibt, ungeachtet doch im letzteren Fall die ableitende Oberfläche vergrössert worden seyn würde. Die Ursache der allmählig eintretenden Verluste ist also hauptsächlich in der eigenthümlichen Beschaffenheit der Luft zu suchen. Die einen electrisirten Leiter umgebenden Lufttheile verhalten sich in der That wie andere leichte Körpertheile; sie werden bei der Berührung erst gleichartig electrisirt, dann abgestossen. Andere müssen folglich an ihre Stelle treten, um ihrerseits wieder abgestossen zu werden u. s. f. Um jeden electrischen Körper findet also eine fortdauernde Luftbewegung Statt, wodurch ihm in jedem Augenblicke ein Theil seines Gehaltes an freier Electricität entführt wird. Diese allmähligen Verluste vermindern sich im Allgemeinen mit der Stärke der electrischen Ladung; sie sind an solchen Stellen eines electrischen Körpers, an welchen die Dichtigkeit am grössten ist, an hervorstehenden Enden, Ecken, Kanten, ebenfalls am grössten. Leiter mit recht glatter, überall abgerundeter Oberfläche, insbesondere Kugeln, halten dagegen die ihnen mitgetheilte Electricität, unter übrigens gleichen Verhältnissen, am längsten zurück. Ist ein Leiter mit einer oder mit mehreren Spitzen versehen, so kann er gar nicht mit Electricität beladen werden, oder verliert doch die ihm beigebrachte Ladung fast augenblicklich wieder. Dabei bemerkt

man eine, je nach der Menge entweichender Electricität, mehr oder weniger starke, wie von der Spitze ausgehende Luftbewegung. Wird eine Spitze unmittelbar an dem Conductor einer mässig starken Maschine angebracht, so kann der durch die rasch auf einander folgenden Abstossungen electrisirter Lufttheile bewirkte Strom eine solche Heftigkeit erlangen, dass die Flamme einer Kerze, die man der Spitze nähert, ausgeblasen wird.

Fig. 120.



Wenn man einen Messingdraht mit zugespitzten Enden und wie in Fig. 120 gebogen, in der Mitte seiner Länge so unterstützt, dass er um den Stützpunct herum in wagerechter Lage beweglich ist; wenn man dann den Fuss dieses kleinen Kreisels auf dem Conductor der Maschine oder einem andern damit in Verbindung stehenden Leiter befestigt, so wird der Draht durch die rückwirkende Kraft des an den Spitzen gebildeten Luftstroms in eine drehende Bewegung versetzt.

Das Ausströmen des electrischen Fluidums durch eine am Conductor der Maschine angebrachte Spritze ist von der Erscheinung leuchtender Büschel oder Garben begleitet, welche jedoch nur im Dunkeln sichtbar sind. Man betrachtet als ein unterscheidendes Merkmal beider Principe, dass die negative Electricität bei gleicher Stärke der Erregung weit kleinere Strahlenkegel bildet als die positive. Lange, scharfe Spitzen zeigen jedoch in allen Fällen nur Lichtpuncte. Auch findet man, dass, wenn beide Conductoren in stumpfe Spitzen oder kleine Kugeln ausgehen, deren Abstand von einander nicht mehr als einige Zolle beträgt, während des Betriebs der Maschine an der Seite des positiven Conductors die stärkste Luftbewegung entsteht.

332. Wiewohl Säulen von Schellack oder Siegellack von genügender Länge, so wie auch gefirnisstes Glas und Seidenfäden, die man durch geschmolzenes Siegellack gezogen hat, vortreffliche Isolirungsmittel bilden, so kann man doch weder diese, noch überhaupt irgend einen bekannten Körper als absolute Nichtleiter ansehen. Man kann sich leicht überzeugen, dass eine Stange oder Platte von Schellack, dem geladenen Conductor einer Maschine nahe gebracht, einen Funken aufnimmt, und dass ihr dadurch die gleichnamige Electricität eingeprägt wird. Auf ähnliche Weise muss also auch jeder isolirende Träger eines electrischen Körpers einen Theil der Electricität des letzern aufnehmen. Diese auf einen schlechten Leiter übergetretene Electricität dringt in seine Masse ein und verbreitet sich, wiewohl mit abnehmender Dichtigkeit seiner Oberfläche entlang, auf eine um so grössere Strecke, je schlechter sein Isolirungsvermögen und je höher die Spannung der zuströmenden Electricität. Die isolirenden Füsse oder Träger müssen daher um so länger seyn, je dichter die Electricität ist, um deren Isolirung es sich handelt, und je unvollkommner das Isolirmittel, das man anwendet. Bei gleicher Länge und gleichem Stoffe halten dünnere nichtleitende Träger die Electricität am besten zurück; hauptsächtlich aus dem Grunde, weil sie der Luftfeuchtigkeit eine kleinere Oberfläche bieten.

Je nach der Tension der vorhandenen Electricität und der Form des Leiters kann eigentlich jeder nichtleitende Stoff ein hinläng-

lich guter Isolator werden; denn Alles kommt darauf an, dass die Electricität durch den Träger nicht rascher fortgeführt werde, als es durch die Luft ohnediess geschehen müsste. Also Glas und Seide, welche die stark gespannte Electricität gewöhnlich nicht zurückzuhalten vermögen, ja selbst Holz, von dem Augenblicke an, da ein gewisser, dem Leitungswiderstande dieser Stoffe gleichkommender, geringerer Grad der Spannung eingetreten ist, werden den noch vorhandenen Rest des electrischen Fluidums eben so gut isoliren, als diess durch Harz möglich ist.

Auf schlechte Leiter, z. B. auf eine Schellackplatte, lässt sich Electricität von ganz geringer Spannung übertragen, wenn man eine hervorstehende Ecke oder Kante des Leiters, auf dessen Oberfläche sie sich befindet, oder noch besser eine Spitze gegen die Harzplatte richtet. Die Deckelplatte des Electrophors oder Condensators verliert daher sehr leicht ihre ganze Ladung, wenn man nicht Sorge trägt, dieselbe parallel von ihrer Unterlage abzuheben.

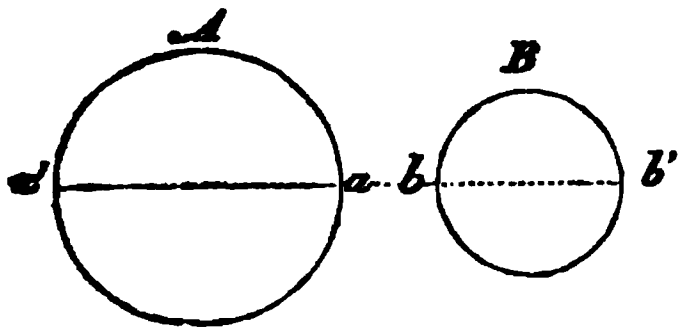
Wenn die Electricität auf die Fläche eines Harzkuchens überspringt, verbreitet sie sich, dem Anscheine nach, nicht gleichmässig über die verschiedenen Puncte der Stelle, auf welche sie übertreten musste. Hierauf beruhen die Lichtenbergischen Figuren, welche man als eines der Hülfsmittel betrachtet, beide Electricitäten zu unterscheiden.

Man ergreife die äussere Belegung einer kleinen geladenen Flasche und setze den Knopf auf einen Harzkuchen. Ein Theil der inneren Ladung geht dadurch auf die Harzfläche über. Wird auf die so electrisirte Stelle irgend ein feines, leichtes Pulver gesiebt, z. B. Hexenmehl, oder Schwefelblumen oder Mennige, so ordnet sich dasselbe, je nachdem die innere Belegung der Flasche mit + E oder mit — E geladen worden war, entweder zu einem Kranze mit nach allen Richtungen ausgehenden Strahlen, oder nur zu einem einfachen Ringe.

333. Das Vertheilungsverhältniss der freien Electricität auf der Oberfläche eines Leiters ist nur so lange ausschliesslich durch die Gestalt der Oberfläche bedingt, als andere Leiter ringsum weit entfernt liegen. So wie ein anderer die Electricität leitender Körper in ihren Wirkungskreis gelangt, ändert sich ihr früherer Gleichgewichtszustand.

Beide electrische Körper seyen z. B. isolirte Kugeln mit metallischer Oberfläche, die vorher in Berührung waren und folglich gleichnamig electrisirt sind. Man wird finden, dass an verschiedenen Stellen der Oberfläche sowohl von *A* wie von *B*, welchen der beiden Körper man mit Hülfe der Prüfungsscheibe untersuchen mag, eine ungleiche Dichtigkeit herrscht, und zwar findet man sie an den einander zunächst liegenden Puncten *a* und *b* am geringsten, an den am weitesten entlegenen am grössten. Dieser Unterschied ist um so bemerkbarer, je geringer der Abstand beider Kugeln, und vermindert sich bei zunehmender Entfernung.

Fig. 121.



Sind beide Kugeln mit ungleichnamigen Electricitäten beladen,

so zeigt sich begreiflicher Weise gerade an den Puncten *a* und *b* die stärkste, an den Puncten *a'* und *b'* dagegen die geringste Anhäufung.

Gesetzt, man habe der Kugel *A* im Voraus z. B. + E mitgetheilt, während *B* vor dem Eintritte in den Wirkungskreis von *A* sich im natürlichen Zustande befand, so wird ein Theil des neutralen Electricums von *B* zersetzt werden; — E wird sich nach dem Theile der Oberfläche hinziehen, welcher *A* zugekehrt ist und am Puncte *b* die grösste Dichtigkeit erreichen; + E, vorzugsweise auf der abgewendeten Seite von *B* angehäuft, wird in *b'* die grösste Dichtigkeit besitzen. Zwischen beiden Seiten der Kugel muss folglich eine Gränze (eine Zone) seyn, welche im natürlichen Zustande verharrt.

Auf der Kugel *A* wird der Prüfungsscheibe überall + E mitgetheilt, deren Dichtigkeit jedoch in der Nähe des Punctes *a* etwas zunimmt; um so mehr, je grösser der Umfang von *B* und je geringer der Abstand beider Körper. Die Anhäufung der + E bei *a*, so wie der — E bei *b* erreicht, unter übrigens gleichen Bedingungen, den grössten Werth, wenn der Leiter *B* mit der Erde in Verbindung gesetzt und dadurch seiner + E der freie Abfluss gestattet wird. In diesem Falle wird folglich der Uebertritt beider Principe zu einander und ihre Vereinigung unter gleichzeitiger Erscheinung des Funkens am meisten begünstigt und aus dem weitesten Abstande erfolgen.

Wenn man die Kugel *B* gegen *A* rückt, ohne die durch Vertheilung frei gewordene + E abzuleiten, so wird gleichwohl bei einem gewissen Abstande beider Körper der Druck der in *a* angehäuften + E gegen die trennende Luftschicht, so wie die ähnliche Einwirkung der in *b* angehäuften — E gross genug werden um den Widerstand der Luft durchbrechen und ihre Vereinigung bewerkstelligen zu können. Die nach dem Uebergange des Funkens in *B* zurückbleibende + E ist dann ihrer Menge nach eben so gross als der Verlust, welchen *A* erlitten hat, beträgt aber immer weniger als diejenige Menge, welche bei unmittelbarer Berührung von *A* auf *B* übergeht. Die auf der Oberfläche der Kugel *B* gebundene ungleichnamige oder abgestossene gleichnamige Electricität kann folglich auf keinem Puncte derselben eine Dichtigkeit annehmen, noch einmal so gross, als diejenige des auf einem ähnlich liegenden Puncte der Kugel *A* haftenden Fluidums (330).

Wenn man gegen einen electrischen Körper eine Metallspitze richtet, die in leitender Verbindung mit der Erde steht, so ist der Widerstand der Luft nicht gross genug, um die in der Spitze durch Vertheilung entwickelte ungleichnamige Electricität verhindern zu können, selbst aus beträchtlicher Entfernung auf den electrischen Körper überzuströmen. Durch diesen Einfluss wird daher ein elec-

trischer Körper in sehr kurzer Zeit in den natürlichen Zustand zurückgeführt.

Richtet man eine lange, scharfe Spitze gegen den Conductor einer kräftig wirkenden Maschine, so senkt sich alsbald die Kugel des Henley'schen Electrometers; ein Einfluss, der sogar bei 8—10 Fuss Entfernung noch bemerkbar ist. Beträgt aber der Abstand der Spitze von der Oberfläche des Conductors nur 2 — 3 Fuss, so nimmt der Conductor trotz des lebhaftesten Betriebs der Maschine keine Ladung an. — Im Dunkeln leuchtet die Spitze.

Wird die Spitze gegen den Knopf einer stark geladenen Flasche gerichtet und allmählig demselben genähert, während man die äussere Belegung mit der andern Hand berührt, so entladet sich die Flasche in wenigen Sekunden ohne Geräusche und ohne eine Erschütterung der Nerven zu bewirken.

334. Wenn ein stark electrisirter Körper, z. B. der Conductor einer im besten Gange befindlichen Electrisirmaschine, von verschiedenartigen Stoffen, guten und schlechten Leitern umgeben ist, so wird der natürliche electrische Zustand in allen ohne Ausnahme gestört, das gleichnamige Fluidum abgestossen, das ungleichnamige angezogen. Der hieraus hervorgehende Druck gegen die Luft nimmt zu, je mehr sich der electrische Körper und seine Umgebungen einander nähern. Diese Vertheilung geht jedoch in den guten Leitern leichter und vollständiger als in den schlechteren vor sich, und überhaupt um so vollständiger, je schneller und je weiter sich die gleichartige (abgestossene) Electricität entfernen kann; sie wird daher in solchen Leitern, die mit der Erde in Verbindung stehen, am vollständigsten eintreten. Der electrische Funke kann demnach auf jeden Körper in der Umgebung des Conductors überspringen, er wird aber denjenigen am sichersten treffen, der bei der grössten Nähe die beste Leitfähigkeit besitzt. Befindet sich in der Nachbarschaft des Conductors ein Leiter, der mit einer langen, scharfen Spitze versehen ist, so wird bei diesem die Vertheilung wie bei allen andern Körpern in der Nähe vor sich gehen. Allein während die gleichnamige Electricität in den Boden entweicht, muss die ungleichnamige durch die Spitze ausströmen. Während also an den dem Conductor zugekehrten Enden der andern Körper, je nach dem Grade ihrer Leitfähigkeit, die ungleichnamige Flüssigkeit in grösserer oder geringerer Menge sich anhäuft, ist der mit der Spitze versehene der einzige, welcher im natürlichen Zustande verharrt. So wie eine Entladung erfolgt und der Conductor seinen electrischen Zustand verliert, müssen die in jedem Gegenstande der Umgebung getrennten Electricitäten sich wieder vereinigen. Waren nun in einem Körper durch die vertheilende Einwirkung beträchtliche Electricitätsmengen ausgeschieden und an entgegengesetzten Enden angehäuft worden, so kann der Rücktritt derselben, nämlich ihre Wiedervereinigung, von ähnlichen Erscheinungen, z. B. wenn lebende Geschöpfe einen Theil des leitenden Systems ausmachten, von einem ähnlichen Nervenreize begleitet seyn, wie der direkte electrische Schlag. Man nennt diese Erscheinung **Rückschlag**.

Ueber Luft-Electricität und Gewitterableiter.

335. Bekanntlich hat der berühmte Amerikaner Benjamin Franklin zuerst mit Bestimmtheit nachgewiesen, dass die Ursache des Blitzes und diejenige des electrischen Funkens nur in der Stärke verschieden sind. Er hob hauptsächlich folgende Aehnlickeiten in der Natur beider Erscheinungen hervor:

1. Das Zickzack des Blitzes gleicht dem eines starken electrischen Funkens, der aus einiger Entfernung überspringt.

2. Der Blitz schlägt am häufigsten in hohe, hervorragende Gegenstände, in die Gipfel der Berge, die Masten der Schiffe, in hohe Bäume, Thürme u. s. w., gleich wie auch der electrische Funken auf die hervorspringendsten Theile der nahe liegenden Körper am leichtesten übergeht.

3. Der Blitz schlägt am häufigsten in solche Körper, die gute Leiter der Electricität sind, in Metalle, Wasser u. s. w., und vermeidet die Nichtleiter.

4. Der Blitz entzündet verbrennliche Körper, schmilzt die schmelzbaren, zersplittert die spröden, zerstört das thierische Leben. Aehnliche Wirkungen lassen sich durch die Electricität hervorbringen.

Franklin begnügte sich jedoch nicht mit dieser Vergleichung; es gelang ihm im Sommer 1752, vermittelst eines mit einer Drahtspitze versehenen Drachen, dessen Faden durch den Regen befeuchtet und dadurch leitend geworden war, die Electricität aus den Wolken herabzuziehen und damit alle die Versuche anzustellen, die man mit der Electrisirmaschine anzustellen pflegt. Aehnliche Versuche wurden, auf Franklin's Anrathen, fast gleichzeitig und mit demselben Erfolge in Frankreich und England angestellt, und bald an vielen Orten wiederholt.

Im grössten Maassstabe sind die Versuche mit dem electrischen Drachen von de Romas wiederholt worden. Er kam auf den Gedanken, dem Faden eines sehr grossen Drachen einen dünnen Metalldraht einzuflechten, dessen unteres Ende er durch einen Seidenstrang isolirte. Ein Conductor, von dem eine Kette auf die Erde hinabreichte, konnte mittelst eines isolirenden Handgriffes geleitet und so dem Ende des Fadens beliebig genähert werden. Auf diese Weise gelang es de Romas, nachdem sich sein Drache gegen eine Gewitterwolke zu sehr bedeutender Höhe erhoben hatte, eine ganze Stunde hindurch Ströme von Funken zu erhalten. Viele derselben schlugen bis zu 10 Fuss Entfernung, und zwar immer auf den besten Leiter über. Das Geräusch, von dem sie begleitet wurden, glich dem Knalle einer Pistole. — Auch der Blitz ist gewöhnlich von einem heftigen Getöse begleitet, das von der Erschütterung herrührt, die er bewirkt, indem er die Luft durchbricht. Es hat gleichen Ursprung mit dem Knistern des kleinsten electrischen

Funkens. Durch den Wiederhall des Donners an den Bergen und andern Erhabenheiten entsteht das Rollen und lange Nachhallen desselben.

Die Gewissheit, dass der Blitz nichts Anderes sey, als eine starke electrische Entladung; die Leichtigkeit, womit es gelang, mittelst eines langen, am oberen Ende zugespitzten Leiters die Electricität aus den Wolken selbst herabzuziehen, führte Franklin zur Erfindung des Blitzableiters.

Jede Gewitterwolke verhält sich ähnlich wie ein mit Electricität beladener und durch die umgebende Luft isolirter Leiter. So oft daher eine schwere Wolke über die Erde zieht, wird der natürliche electrische Zustand aller unter ihr befindlichen Erdkörper aufgehoben. Die auf solche Weise auf der Erdoberfläche entwickelte ungleichnamige Electricität häuft sich allmählig an, je näher die Wolke rückt, und nimmt eben so allmählig wieder ab, wenn sich die Wolke entfernt. Ein Mensch, diesem Einflusse ausgesetzt, würde nichts davon empfinden, aber durch plötzliche Entladung der Wolke nach einer ganz andern Richtung, wodurch ihre Wirkung auf die Erde eben so plötzlich aufhören müsste, könnte er, ohne selbst vom Blitze getroffen zu seyn, durch blossen Rücktritt der in ihm angesammelten Electricität, durch den sogenannten Rückschlag, eine sehr heftige und selbst lebensgefährliche Erschütterung erhalten.

Durch die wechselseitige Anziehung der Wolken-Electricität und ihres Gegensatzes auf der Erde können die Gewitterwolken genöthigt werden, sich tiefer herabzusenken, und wenn sich gute Leiter, z. B. grosse Wassermassen in der Nähe vorfinden, kann dadurch sogar ihre Bewegung aufgehalten und selbst ihre Richtung geändert werden.

Je mehr Electricität eine Gewitterwolke enthält, je mehr sie sich den Erdkörpern nähert, je feuchter und besser leitend die zwischen beiden befindliche Luftschicht ist, je besser die Erdkörper selbst leiten, je vollständiger ihre leitende Verbindung mit grossen Massen feuchten Erdreichs oder mit fliessendem Wasser, um so leichter wird das der Wolken-Electricität gleichartige Fluidum zurückgedrängt, das ungleichartige angezogen und auf der Oberfläche der Körper verdichtet; um so wahrscheinlicher ist folglich der Eintritt einer electrischen Entladung, des Blitzes.

Wenn nun unter verschiedenen Erdkörpern in der Nähe einer sich befindet, der bei weitem besser als alle übrigen leitet, wenn derselbe überdiess über die andern hervorragt, am obern Ende zugespitzt ist und mit dem feuchten Erdboden so gut wie möglich in leitender Verbindung steht, so wird der niederfahrende Blitz diesen vor allen am wahrscheinlichsten aufsuchen.

Unter einem Blitzableiter versteht man einen solchen Leiter, von dem sich mit Sicherheit annehmen lässt, dass die etwa

in der Richtung der Erde sich entladende Electricität einer Wolke, unter allen Körpern der Umgebung ihn vorzugsweise als Weg, um auf den Boden zu gelangen, wählen werde. Die wesentlichen Erfordernisse eines Blitzableiters ergeben sich bei gehöriger Berücksichtigung der bekannten Eigenschaften des electrischen Fluidums sehr leicht. Die Metalle bieten sich dazu als das geeignetste Material, indem sie die übrigen Körper ohne allen Vergleich an Leitfähigkeit übertreffen. Unter den Metallen würde das Kupfer als einer der vorzüglichsten Leiter zu wählen seyn; gewöhnlich wird aber Eisen, wegen seiner grösseren Wohlfeilheit, vorgezogen. Dieser metallische Leiter muss über die höchsten Puncte des zu schützenden Gebäudes hervorragen, in ununterbrochener Verbindung bis zur feuchten Erde oder zu fliessendem Wasser herabgehen und von erfahrungsmäsig hinreichender Dicke seyn, dass selbst die grösste Menge von Electricität, welche möglicher Weise aus einer Gewitterwolke hervortreten kann, indem sie ihren Weg durch denselben nimmt, weniger als durch irgend andere Körper in der Nähe aufgehalten wird. — Der Blitz trifft häufig einzeln stehende Bäume, weil diese, indem sie sich zu bedeutender Höhe erheben und ihre Wurzeln theils tief in die Erde senken, theils nach verschiedenen Richtungen verzweigen, wahre Gewitterableiter sind. Sie besitzen jedoch diese Eigenschaft nur in unvollkommnem Grade, daher dieselbe zuweilen für diejenigen verderblich wird, welche Schutz unter ihnen suchen. Als mittelmässige Leiter gestatten sie der electrischen Flüssigkeit keinen sehr schnellen Durchgang, daher der Blitz auf bessere Leiter, wie Menschen und Thiere, wenn sie sich in der Nähe befinden, leicht überschlägt und durch diese den Weg nach der Erde sucht.

Auch das Wasser leitet schlechter als lebende Thiere. Die Gefahr, vom Blitz getroffen zu werden, wird folglich für diese in der Nähe des Wassers eher vergrössert als verringert.

Ganz anders verhält es sich mit dem metallischen Ableiter von hinlänglicher Dicke. Diesen verlässt der Blitz niemals, selbst wenn er auf Holz oder Stein unmittelbar aufliegen, oder unmittelbar durch Wasser gehen sollte; selbst dann nicht, wenn man ihn mit der Hand umspannte, denn kein anderer Körper kann der Electricität einen rascheren Durchgang gewähren. Nur die Möglichkeit eines Mangels an metallischem Zusammenhange oder eines unvollkommnen Uebergangs zu dem feuchten Boden macht es rathsam, sich während eines Gewitters von dem Ableiter entfernt zu halten.

Wenn jedoch ein Blitzableiter die oben verlangten Eigenschaften nicht besitzt, wenn er z. B. nicht dick genug ist, so tritt nicht nur Gefahr der Erwärmung und selbst der Schmelzung ein, sondern es kann auch wegen dieser verminderten Leitfähigkeit ein Abspringen des Blitzes auf nahe liegende Körper stattfinden, indem ein Theil der Electricität, so weit es die Capacität des Leiters

erlaubt, demselben bis in die Erde folgt, der übrige Theil aber durch die nächste Umgebung eine bessere Ableitung findet. Ein solcher fehlerhaft hergestellter Ableiter kann nun freilich keine vollkommne Sicherheit gewähren; irrig würde jedoch die Vorstellung seyn, dass er die Gefahr vermehre, indem er sie herbeiziehe, ohne doch vor ihr schützen zu können. Aus dem Vorhergehenden leuchtet ein, dass schlechte Gewitterableiter eben dadurch aufhören, Sicherheit zu geben, weil sie vergleichungsweise zu der nächsten Umgebung nicht mehr vorzugsweise eine anziehende Kraft auf die ohnediess in dieser Richtung sich entladende Wolken-Electricität auszuüben vermögen. Sie können also in keinem Falle die Gefahr mehr herbeiziehen, als es überhaupt gute Leiter thun, wie z. B. die Schornsteine, wegen der darin aufsteigenden feuchten Dünste, oder wegen des Russes, womit ihre Wände bedeckt sind, wie eiserne Stubenöfen, wie Dachkandeln, Metallbedachungen und wie überhaupt grössere Metallmassen, die doch bei jedem Gebäude in Menge und ohne Bedenken verwendet werden.

Zudem hat eine 80jährige Erfahrung gelehrt, dass Blitzableiter, die mit gehöriger Sorgfalt ausgeführt waren, die Gebäude, worauf sie angebracht waren, vor dem Blitze vollkommen schützten. Man hat übrigens nicht bemerkt, dass der Blitz auf geschützte Wohnungen häufiger als auf andere nicht geschützte herabgefallen sey. In der That erstreckt sich die anziehende Kraft auch des besten Ableiters wegen seiner geringen Masse auf eine zu kurze Entfernung, als dass sich erwarten liesse, er allein vermöge die Richtung zu bestimmen, in welcher sich die Electricität einer Wolke entladen müsse.

Theorie nnd Erfahrung sagen uns also, nicht sowohl dass die Ableiter den Blitz herbeiziehen, sondern dass, wenn derselbe zufälliger Weise eine Richtung wählt, in der sich ein Ableiter befindet, dieser vorzugsweise getroffen wird.

Gesetzt indessen, ein sehr starker Blitzableiter vermöge wirklich den Blitz aus den Wolken anzuziehen, und diess liesse sich von solchen, die auf hohen Thürmen angebracht sind, mit mehr Wahrscheinlichkeit vermuthen, so würde diese Eigenschaft nothwendig auch die andere bedingen, denselben ohne Gefahr in den Boden abzuführen, gleich wie die Electricität eines geladenen Conductors auf einen kleinen nahestehenden Leiter nur dann überspringen kann, wenn derselbe mit der Erde in Verbindung steht.

An jedem Blitzableiter lassen sich drei Haupttheile unterscheiden: die Auffangstange, die Ableitung und die Versenkung.

Die Auffangstange ist eine Stange aus Schmiede-Eisen, gewöhnlich vierkantig und nach oben pyramidal zulaufend. Ihr Zweck ist, an dem zu schützenden Gebäude einen Punct zu gewinnen, der, weil er über alle andern hervorragt, als Spitze erscheint und eine stärkere Anziehung als alle unter ihm befindlichen Körper auf die Electricität ausübt, dem Anfalle des Blitzes vor allen ausgesetzt ist.

Die Auffangstange muss daher an der höchsten Stelle des Hauses aufgerich-

tet und wenigstens so hoch seyn, dass sie über die Schornsteine emporragt. Am obersten Ende derselben pflegt man eine kupferne, stark vergoldete Spitze aufzuschrauben. Diese Spitze ist vielleicht nicht unumgänglich nothwendig; sie gewährt aber jedenfalls den Vortheil, dass aus derselben dem in der Luft vorhandnen electrischen Fluidum sein Gegensatz entgegenströmt und dass dadurch allein schon die energischen Wirkungen des Blitzes bedeutend vermindert werden können. Mehrere Spitzen an der Auffangstange, kreuzweis oder in anderer Weise angebracht, sind allerdings zwecklos und weder durch die Erfahrung, noch durch die Theorie motivirt.

Die schützende Kraft der Auffangstange erstreckt sich nach dem auf Erfahrung gegründeten Gutachten der Pariser Akademiker*) auf einen Umkreis, dessen Halbmesser ihre doppelte Höhe nicht übersteigen darf. Z. B. eine Stange von 15 Fuss Höhe sichert nur solche Stellen eines Gebäudes, welche, bei gleicher Höhe mit ihrem Fusspuncte, von diesem nicht mehr als 30 Fuss entfernt liegen. Man pflegt die Höhe von 12—15 Fuss nicht zu überschreiten; Gebäude, deren Dachfirst mehr als 60 Fuss lang ist, müssen daher zwei oder mehrere Auffangstangen erhalten, so dass der Abstand von zwei Stangen nie mehr als 60 Fuss ausmacht.

Die Dicke der Stange, da wo sie auf der First aufsitzt, beträgt 2 Zoll; nach oben darf sie sich bis zu ½ Zoll verjüngen.

Unter der Ableitung versteht man die metallische Verbindung, welche von der Auffangstange, wo möglich auf dem kürzesten Wege, der sich ausserhalb des Hauses darbietet, nach dem Boden herabführt. Sie ist gewöhnlich von Eisen; aber auch Kupfer, Messing und Blei werden zu diesem Zwecke verwendet.

Das Eisen wird in runden und viereckigen Stangen und neuerdings am häufigsten in Form gewalzter Schienen angewendet. Man hat kein Beispiel, dass Eisenstangen von ¼ Quadratzoll Querschnitt durch den Blitz wären geschmolzen oder auch nur erwärmt worden. Diese Dicke kann daher als hinreichend betrachtet werden. Den Schienen gibt man 1 Zoll Breite und ¼ Zoll Dicke.

Die einzelnen Stücke werden an den Enden etwas breiter geschmiedet, rein und eben gefeilt und mittelst Schrauben und Muttern sowohl an der Auffangstange, wie an einander befestigt. Um den metallischen Zusammenhang vollkommen zu sichern, kann man zwischen jede Verbindungsstelle ein rein gescheuertes Bleiblättchen legen. So weit die Ableitung auf dem Dache hinläuft, pflegt man sie auf 4—6 Zoll lange, oben zum Einlegen der Stange mit Lappen versehene eiserne Stützen zu legen, welche 15—16 Fuss von einander unmittelbar in die First des Daches eingeschlagen werden. Da wo die Leitungsstange an der Seitenwand des Gebäudes herablauft, kann man sie mit Klammern an der Mauer befestigen. Kein Theil eines Blitzableiters braucht isolirt zu werden. Wohl aber müssen grössere Metallmassen, wie Dachkandeln u. s. w., in leitenden Zusammenhang damit gebracht werden. Man führt die Ableitung am besten an der Wetterseite herab. Mehr als eine bei einem gewöhnlichen Wohnhause ist überflüssig.

Um den Blitz mit voller Sicherheit in die Erde ableiten zu können, muss die Ableitungsstange noch eine Strecke Wegs unter dem Boden fortgeführt werden. Man nennt diesen untersten Theil derselben die Versenkung. Von ihrer richtigen Anlegung hängt eigentlich der Werth der ganzen Vorrichtung ab. Es handelt sich nämlich darum, die electrische Flüssigkeit aus einem der besten leitenden Kanäle (der Eisenstange) auf einen verhältnissmässig überaus viel schlechteren Leiter, den Erdboden, ohne Aufenthalt zu übertragen. Man muss folglich suchen, die Uebergangspuncte möglichst zu vervielfältigen. Zu dem Ende pflegt man vom Grunde des Gebäudes ab einen 4—5 Fuss langen, 2 Fuss

---

*) Instruction sur les Paratonnerres, adoptée par l'Academie royale des Sciences le 23 avril 1823 et redigée par une Commission composée de MM. Poisson, Lefébre-Gineau, Gérard, Dulong, Fresnel et Gay-Lussac, Rapporteur (Annales de Chim. et de Phys. Tom. 26. p. 258).

tiefen Graben zu eröffnen, in welchen das Ende der Stange, umgeben von einem 3—4 Zoll dicken Wulste von Blei, und am besten in mehrere Aeste auslaufend, auf eine Unterlage von zerschlagnen Holzkohlen eingelegt wird. Man gibt dann noch eine dicke Lage Holzkohlen-Stücke auf, bevor man den Graben wieder mit Erde ausfüllt.

336. Lange fortgesetzte Beobachtungen über den electrischen Zustand der Wolken haben als Thatsache herausgestellt, dass sie stets mit Electricität beladen sind. Bald zeigt sich dieselbe von positiver, bald von negativer Beschaffenheit, und oft wechseln in einem vorüberziehenden Gewölke beide Zustände rasch mit einander ab. Diese Ladungen werden, wenigstens in der gemässigten Zone unserer Erde, in den meisten Fällen durch Regen und Schnee, ohne irgend auffallende Erscheinungen, zur Erde herabgeleitet. Das Gewitter ist also nur die Folge einer ungewöhnlich starken Anhäufung des electrischen Fluidums in den Wolken.

Das Vorhandenseyn freier Electricität in der Atmosphäre ist aber nicht auf den Umfang der Wolken beschränkt; auch bei dem gewöhnlichen Feuchtigkeitszustande, ja zur Zeit der grössten Trokkenheit, befindet sich Electricität in der Luft, die durch empfindliche Electroscope, welche man, mit langen, oben zugespitzten metallischen Leitern verbunden, dem freien Luftraume aussetzt, angezeigt wird. Diese Electricität ist bei heiterer Witterung immer positiv. Ihre Intensität ist gewöhnlich gering, scheint aber in den höheren Regionen der Atmosphäre zuzunehmen.

Um fortdauernde Beobachtungen über den electrischen Zustand der Luft anstellen zu können, wird eine, oben in eine lange dünne Spitze ausgehende metallische Leitung, welche, ähnlich der Auffangstange des Blitzableiters, über die höchsten Puncte des Daches hervorragt, isolirt in das Innere des Gebäudes geführt. Das untere, mit einer isolirten Kugel zusammenhängende Ende derselben kann nach Befinden mit dem Electrometer verbunden oder auch mit der Ableitungsstange in leitenden Zusammenhang gesetzt werden. Letztere muss mit eben der Sorgfalt, wie diejenige eines Blitzableiters hergerichtet seyn. Der kugelförmige Kopf derselben wird gewöhnlich in der Entfernung von ein Paar Zollen von der Kugel des Zuleiters aufgestellt, damit etwa eintretende sehr starke electrische Anhäufungen gefahrlos abgeführt werden können.

Die electrische Einwirkung der Luft auf diese, so wie auf andere geeignete electrometrische Vorrichtungen ist im Winter stärker als im Sommer; alltäglich wächst sie mit Sonnenaufgang, nimmt nach 9 Uhr wieder ab, steigt bei Sonnenuntergang abermals um dann während der Nachtzeit allmählig wieder zu sinken. Morgens, kurz vor Sonnenaufgang, ist sie am schwächsten. Dieses Verhalten ist bei heiterer Witterung ziemlich regelmässig. Bei bewölktem Himmel zeigen sich Abweichungen, wiewohl auch dann nur positive Electricität in der Luft gefunden wird. Nur während eines Gewitters, sowie bei Regen- oder Schneefall findet man abwechselnd bald positive, bald negative Electricität; auch bemerkt man dann eine weit grössere electrische Intensität als bei heiterer Luft.

337. Mehrere Ursachen scheinen zu der in der Atmosphäre verbreiteten Electricität beizutragen. Als die erheblichsten derselben muss man den Verbrennungsprozess kohlenstoffhaltiger und wasserstoffhaltiger Körper und insbesondere die Dampfbildung betrachten. Man hat nämlich die Beobachtung gemacht, dass Körper,

welche in der Luft verbrennen, freie negative Electricität aufnehmen, während das durch die Verbrennung erzeugte Wassergas oder die erzeugte Kohlensäure sich mit positiver Electricität beladen. — Ebenso zeigt sich während des Processes der Dampfbildung eine Störung des natürlichen electrischen Gleichgewichtes; die aus den Gewässern aufsteigenden Dämpfe treten in den positiv electrischen Zustand; die zurückbleibende Flüssigkeit dagegen, oder andere damit in Berührung stehende Körper werden negativ electrisch.

Will man diese Art der Electricitätsentwicklung durch Versuche nachweisen, so befestige man an der unteren, auf dem Electrometer aufsitzenden Platte eines Condensators, einen Metalldraht und gebe demselben 3—4 Zoll seitwärts von dem Instrumente eine ringförmige Biegung. Man bedecke die letztere mit einer Scheibe von Platin, setze einen Kohlencylinder darauf, dessen oberes Ende man entzündet hat, und berühre die obere Condensatorplatte mit dem Finger. Nach wenigen Augenblicken, zumal wenn die Verbrennung durch Zuströmen von Luft, z. B. mittelst des Löthrohrs, belebt wird, nimmt die untere Platte eine negativ electrische Ladung an. — Um zu zeigen, dass die Kohlensäure mit positiver Electricität entweicht, setzt man die brennende Kohle, ohne sie zu isoliren, unter die Platinscheibe, so dass diese mit dem Strome aufsteigender Kohlensäure in Berührung kommen muss.

Bringt man auf die ringförmige Biegung des Drahts eine Platinschale, erhitzt dieselbe bis zum Glühen und giesst dann einige Tropfen einer Salzlösung oder auch gewöhnliches Brunnen- oder Flusswasser hinein, während die obere Platte des Condensators in leitender Verbindung mit der Erde steht, so verdichtet sich — E in der unteren Condensatorplatte. Eben so leicht lässt sich beweisen, dass der Dampf mit + E beladen, fortgeht. Das Wasser der Quellen und Flüsse ist selten ganz rein, fast immer enthält es fremdartige Stoffe, wenn auch in geringer Menge aufgelösst. Chemisch reines Wasser entwickelt bei der Verdampfung keine Spur von Electricität. Man hat hieraus den Schluss gezogen, dass die Störung des electrischen Gleichgewichtes bei der Verdampfung wässriger Flüssigkeiten, nicht sowohl dem Uebergang des Wassers in Dampfform, als vielmehr einem gleichzeitigen chemischen Processe, nämlich der Trennung der Wassertheile von dem Stoffe, womit sie in der Auflösung verbunden waren, zuzuschreiben sey.

Der Vorgang der Verdampfung bildet einen so ausgiebigen Electricitätsquell, dass man ihn neuerdings als ein Mittel benutzt hat, Electricität in grösserer Menge und von ähnlicher starker Spannung, wie sie mittelst der Reibungs-Electrisirmaschine erhalten werden kann, zu gewinnen. Die von ihrem Erfinder Armstrong (Pogg. Ann. 68. 352) sogenannte Hydro-Electrisirmaschine besteht im Wesentlichen aus einem isolirten cylindrischen Dampfkessel, dessen Feuerherd sich im Innern befindet. Die Feuerluft wird durch Röhren, die vom Kesselwasser umgeben sind, in eine mit dem Kessel zusammenhängende und damit ein einziges isolirtes System bildende Rauchkammer geführt und gelangt aus dieser in den Schornstein. Die gebildeten Dämpfe strömen durch eine grosse Anzahl enger nach Aussen sich erweiternder Röhren aus, die den Zweck haben, der austretenden elastischen Flüssigkeit Bewegungshindernisse entgegenzusetzen, weil der Erfinder von der durch spätere Versuche von Faraday gerechtfertigten Vorstellung ausgeht, dass Reibung an den Röhrenwänden die hauptsächlichste Ursache der Electricitätserregung bei seiner Maschine sey (A. a. O. 348). Gegen den ausströmenden Dampf ist eine Reihe von Metallspitzen gerichtet, die mit der Erde in leitender Verbindung stehen und welche dazu dienen, die + E des Dampfes möglichst rasch zu entfernen. Je weiter man diese Spitzen von den Ausströmungsöffnungen entfernt hält, um so stärker wird die Spannung der auf der Oberfläche des Kessels angehäuften — E. Bei 3 Fuss Abstand der Spitzen wurden zuweilen Funken von 22 Zoll Länge erhalten.

Bei der grossen Menge von Electricität, welche durch den ununterbrochen fortgehenden Process der freiwilligen Verdampfung oder der Verdunstung in die Atmosphäre übertritt, und durch aufsteigende Luftströme in die Höhe geführt wird, begreift man nunmehr, warum überall und zu jeder Zeit Electricität darin gefunden wird, und warum dieselbe vorzugsweise, ja gewöhnlich positiv ist.

Die Wolken, insbesondere die durch sehr starke Abkühlung entstandenen, dichten und schweren Gewitterwolken, müssen wegen ihres Gehaltes an bereits tropfbarem Wasser einen weit höhern Grad der Leitfähigkeit besitzen, als Luftmassen, in welchen feuchte Niederschläge noch nicht erfolgt sind.

Die Luft-Electricität im ganzen Umfange einer Wolke sammelt und verdichtet sich daher mit mehr oder weniger grosser Schnelligkeit, je nach der Stärke des Wasserniederschlags an der Oberfläche derselben, ganz so, wie es bei einem electrisirten Leiter, der von einem schlechter leitenden Mittel umgeben ist, geschehen muss. So erklärt es sich, dass dem Ausbruche heftiger Gewitter immer eine sehr starke und gewöhnlich auch eine sehr rasche Wolkenbildung vorhergegangen ist.

Die gewöhnlich sehr grosse Länge des Blitzes erklärt sich aus der unvollkommenen Leitfähigkeit der Wolken, wodurch bewirkt wird, dass der Blitz nicht sowohl einen einzigen überschlagenden Funken bildet, sondern mehr eine Funken-Reihe, ähnlich dem Funken-Uebergange bei einer Blitztafel.

Weniger leicht begreiflich ist nach dem gegenwärtigen Umfange unserer Erfahrungen, dass in den atmosphärischen Niederschlägen und in den Gewitterwolken fast eben so oft — E. als + E. gefunden wird. Man nimmt indessen an, dass die Stärke des Wasserniederschlages, so wie die der electrischen Anhäufung in Wolken, welche in verschiedenen Höhen des Dunstkreises entstanden sind, nicht gleich sey. Wenn sich aber Electricität der einen Art auf einem Leiter in verhältnissmässig bedeutenderer Menge befindet, als auf andern der Umgebung, so wird in diesen der Gegensatz durch Vertheilung hervorgerufen. Durch wechselseitige Einwirkung ungleich stark electrisirter Wolken können also beide Electricitäten auftreten, wenn schon ursprünglich die positive das Uebergewicht in der Atmosphäre hat.

Berührungs-Electricität.

338. Verschiedenartige Körper werden schon bei der blossen Berührung (beim Contakte) entgegengesetzt electrisch. Die Tension der hierbei ausgeschiedenen Electricitäten ist jedoch niemals so stark, um ohne Beihülfe der empfindlichsten electrometrischen Werkzeuge wahrnehmbar zu seyn. Die Art der Electricität, die ein Körper bei der Berührung mit einem andern annimmt, ist unter

der Bedingung ganz reiner Berührungsflächen derjenigen gleich, welche durch Reibung mit diesem andern (insofern er ein geeignetes Reibzeug bilden kann) hervorgerufen werden würde. Bei Stoffen von ganz gleichartiger Oberflächen-Beschaffenheit bewirkt die Berührung keine Störung des electrischen Gleichgewichtes.

Berührt man z. B. eine reine Kupferplatte mit einer noch ungebrauchten Glas- oder Schellackscheibe, so wird das Kupfer negativ electrisch, der andere Körper positiv. Holz oder Papier mit Schellack berührt wird positiv electrisch, die harzige Substanz negativ. Um diese electrischen Zustände auch für ein weniger empfindliches Electrometer erkennbar zu machen, kann man sich eines electrischen Verstärkungsapparates bedienen, der von seinem Erfinder Bennet den Namen Duplicator erhalten hat. Er besteht aus drei gewöhnlichen Condensatorplatten *a*, *b* und *c*, von welchen die erste auf dem Goldblatt-Electrometer sitzt, die zweite von einem isolirenden Fusse getragen wird, die dritte, der Deckel, mit einer isolirenden Handhabe versehen ist. Gesetzt, *c* sei auf *a* gestellt worden; man berühre *a* mit einer von Glas isolirt abgehobenen Kupferplatte, *c* mit dem Finger, so wird die im Kupfer erregte — E in die untere Condensatorplatte eingesogen, in der oberen eine entsprechende Menge + E gebunden. Hebt man dann *c* von *a* ab, stellt es auf *b*, während man dieses mit dem Finger berührt, so wird darin nahe eben so viel + E gebunden als in *a* enthalten ist. Verbindet man daher *a* und *b* mittelst eines kleinen, isolirt gehaltenen Ausladers, und berührt *c* mit dem Finger, ohne es von *b* abzuheben, so muss sich sowohl in *b* wie in *c* noch einmal so viel Electricität ansammeln, als in jeder dieser Platten vorher enthalten war. Indem man dieses Verfahren fortsetzt, nämlich *c* abwechselnd auf *a* und auf *b* stellt, zuerst die untere Condensatorplatte mit der Erde, dann *a* und *b* leitend verbindet, dagegen *c* mit dem Finger berührt, wird die ursprünglich mitgetheilte Electricitätsmenge auf das vierfache, achtfache, sechzehnfache u. s. w. vermehrt. Die Vervielfältigung irgend einer gegebenen Quantität des electrischen Fluidums, mit Hülfe des Duplicators, steigt also in einem sehr schnell zunehmenden Verhältnisse und ist wirklich ohne Gränzen. Aber eben desshalb darf man nie unterlassen, die mit diesem Instrumente erhaltenen Resultate durch Gegenversuche zu controlliren, indem man sich sonst der Gefahr aussetzt, durch zufällig, z. B. durch Reiben der Condensatorplatten aneinander, oder irgend andere Ursachen entwickelte Electricität irre geleitet zu werden.

Der Vorgang des Reibens ist eigentlich nur ein vervielfältigtes Berühren. Da nun die bei der einfachen Berührung erregte Electricität von der durch Reiben entwickelten nur in der Stärke verschieden ist, da ferner die durch Zusammenreiben anscheinend gleichartiger Stoffe bewirkten, verhältnissmässig immer nur geringen electrischen Erregungen, in der Mehrzahl der Fälle von bestimmter Verschiedenheit entweder der äusseren, physikalischen Beschaffenheit oder doch der Temperatur abgeleitet werden können, so hat man Grund zur Vermuthung, dass Reibungselectricität und Berührungselectricität wesentlich von derselben Ursache herrühren, und dass eine Erklärung der Entstehungsweise der einen, die der andern einschliesst. — Um eine reichliche electrische Ausbeute zu erhalten, muss, wie bekannt, wenigstens der eine der zusammengeriebenen Körper ein Nichtleiter seyn. Auf dem Nichtleiter haftet die erregte Electricität, während bei fortgesetzter Reibung, also durch Wechsel der Berührungspuncte stets neue Erregungen eintreten. Die Electricitätsmenge muss sich daher anhäufen, bis endlich ihre Spannung gross genug geworden ist, den Leitungswiderstand zu überwältigen. Ueber diese Gränze hinaus fortgesetzte, wenn auch noch so starke Reibung bleibt ohne Erfolg.

339. Bei der Berührung werden je zwei verschiedenartige Körper im Widerspruche mit dem, wovon uns die Lehre der Reibungs-Electricität unterrichtet, auch dann electrisch, wenn beide

gute Leiter sind. Die Electricitätserregung ist in diesem Falle sogar am leichtesten und sichersten nachweisbar.

Eine Kupferplatte, die auf der einen Seite recht eben abgeschliffen, auf der andern mit einem 3—4 Zoll langen Stiele von Schellack versehen ist, und eine ähnlich eingerichtete Zinkplatte werden mit ihren glatten Flächen zusammengelegt, dann, indem man sie an ihren isolirenden Handhaben fasst, wieder getrennt. Die erstere wird dadurch freie negative, die zweite freie positive Electricität aufnehmen. Diese entgegengesetzten Zustände sind nur mittelst eines sehr empfindlichen Electroscops direct wahrnehmbar. Durch Beihülfe des Condensators verstärkt, können sie aber mit jedem Electrometer beobachtet werden. Man theile zu dem Ende die Electricität des Kupfers der einen Condensatorplatte, die des Zinks der andern mit, bringe dann beide Körper von Neuem in Berührung, trenne sie wieder und verfahre überhaupt wie vorher. Nach 6—12 oder mehr Wiederholungen dieser Art (es hängt diess von der Empfindlichkeit des Electrometers ab) wird der Condensator hinlänglich stark geladen seyn, um nach Abhebung der Deckelplatte einen deutlichen Ausschlag der Goldblättchen oder Strohhalmen bewirken zu können.

Ein sicheres Gelingen dieses Versuches erfordert reine Berührungsflächen, gut isolirende Handhaben, trockne Luft und ein paralleles Abheben der Platten. Man gibt den letzteren gewöhnlich einen Durchmesser von 3 Zoll. Die Menge der frei werdenden Electricität ist bei gleicher Oberflächen-Beschaffenheit der Grösse der Berührungsflächen proportional. Uebrigens ist es nicht wesentlich, gerade Kupfer- und Zinkplatten zu wählen; irgend zwei andere Leiter mit ebnen und glatten Flächen, damit sie sich recht viele Berührungspuncte bieten können, aufeinandergelegt, zeigen dieselbe Erscheinung.

Durch Reibung zweier guten Leiter aufeinander, kann die schon bei einfacher Berührung derselben erfolgende electrische Ausscheidung nicht im geringsten verstärkt werden.

340. Diese durch wechselseitige Einwirkung zweier ungleichartiger Stoffe erregten Electricitäten befinden sich während der Dauer der Berührung im gebundenen Zustande und können desshalb erst nach der Trennung der Platten auf das Electrometer einwirken. Dass sie aber wirklich schon im Augenblicke der Berührung erzeugt werden und nicht erst ein Product der Trennung sind, erkennt man daraus, weil abwechselnd von dem einen und andern der verbundenen Körper, ganz so, wie es die Bedingungen wechselseitiger Bindung erfordern, kleine Mengen Electricität abgeleitet und auch mittelst eines geeigneten Verdichtungsapparates gesammelt werden können.

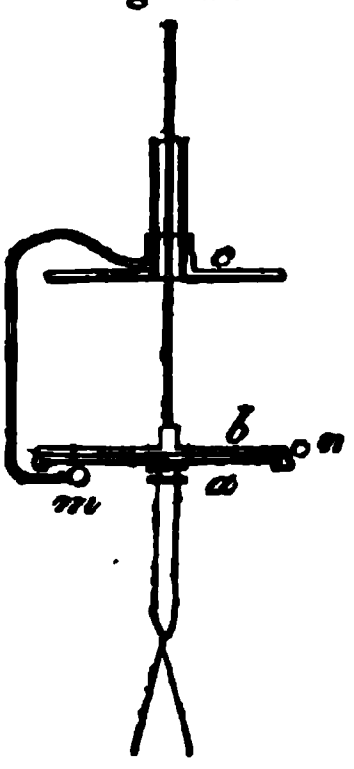
Man nehme einen Condensator, dessen einer Theil aus Kupfer, der andere aus Zink besteht; man verbinde die Kupferseite des Erreger-Paares einen Augenblick mit der Kupferplatte des Condensators, die Zinkseite mit der Zinkplatte. Letztere wird dadurch mit + E., die erstere mit — E. geladen.

Dieser Versuch lässt sich beliebig oft, stets mit gleichem Er-

folge wiederholen. Die abgeleiteten Electricitäten müssen folglich durch neue Erregung immer wieder ersetzt werden.

Die so erhaltenen electrischen Ladungen können nicht, wie die mit getrennten Platten (339) bewirkten, auf jedes Electroscop einen Eindruck machen, sondern erfordern empfindliche Instrumente. Mittelst des Duplicators lässt sich zwar die Wirkung verstärken; noch geeigneter zu diesem Zwecke ist aber eine andere Art von zusammengesetztem Condensator, dessen Gebrauch nicht wie der des Duplicators zu zweideutigen Anzeigen führen kann. Er besteht aus drei über einander liegenden Platten *a*, *b* und *c* (Fig. 122), von welchen die unterste und oberste aus gleichartigem Stoffe, z. B. beide aus Kupfer oder überguldetem Messing angefertigt seyn müssen, die mittelste kann aus anderm Stoffe, z. B. aus Zink bestehen. *c* ist in der Mitte durchbrochen und ihre isolirende Handhabe hohl, dergestalt, dass wenn sie aufliegt, sie den isolirenden Stiel von *b* umschliesst, und gehoben oder auch ganz entfernt werden kann, ohne die Platte *b* zu verrücken; *a* sitzt auf dem Electrometer. *b* ist ringsum gefirnisst und an der einen Seite mit einem kleinen Knopfe *n* von demselben Stoffe, wie die Platten *a* und *c*, versehen, dessen dünner cylindrischer Stiel in eine entsprechende Vertiefung eingeht. *a* ist nur an der oberen, *c* nur an der unteren Fläche mit Firniss überzogen. An der Berührungsstelle der Zinkplatte *b* und des daran befestigten Knopfes *n* findet eine electrische Erregung statt. Setzt man daher diesen Knopf mit der Oberfläche von *c* in leitende Verbindung, während *c* auf *b* aufliegt, so laden sich beide Platten; die erstere mit — E., die letztere mit + E. Hebt man hierauf *c* an ihrer isolirenden Handhabe so weit auf, dass der heruntergehende Knopf *m* mit *a* in Berührung kommt, so wird die — E. von *c* in diese unterste Platte gezogen, die erregte + E. an der unteren Fläche der Zinkplatte gebunden. Die obere Fläche der Zinkplatte und die darauf liegende Kupferplatte können daher durch wiederholte Verbindung des Knopfes *n* mit der Oberfläche von *c* eine neue Ladung annehmen, und diese kann, wie vorher, wieder auf die beiden untersten Platten übertragen werden u. s. f., bis nach dem Abheben der Platte *b* ein hinlänglich starker Ausschlag der Pendel erfolgt.

Fig. 122.



341. Die Fähigkeit eines Paares ungleichartiger Stoffe, so lange sie sich in Berührung befinden, die ihnen entzogene Electricität immer wieder zu erzeugen, beweist eine fortdauernd thätige wechselseitige Einwirkung. Sie hindert, ähnlich wie ein unvollkommenes Leitungsvermögen, den Rücktritt beider ausgeschiedener Flüssigkeiten zu einander. Zwischen guten Leitern ist kein anderes Hinderniss der Wiedervereinigung denkbar. Das Bestreben zur Wiedervereinigigung oder die wechselseitige Anziehung muss daher mit der electrisch erregenden Ursache, mit der sogenannten **electromotorischen Kraft** im Gleichgewichte stehen.

Sind beide Principe in solcher Menge vorhanden, um diesem Gleichgewichte zu entsprechen, so hört die Erregung auf. Wird auf der einen oder andern Seite Electricität abgeleitet oder zugeführt, so ist das Gleichgewicht gestört. Im ersteren Falle neue Ausscheidung beider Elüssigkeiten, bis der Verlust ersetzt ist. Eine electrische Anhäufung über diese Gränze hinaus kann aber nicht stattfinden. Wird mehr Electricität zugeführt, so verbreitet sie

sich nach den gewöhnlichen Regeln des electrischen Gleichgewichtes über die Oberfläche beider Körper. Das Erregerpaar hört also nicht auf, für alle, von Aussen zugeleitete Electricität sich wie ein gewöhnlicher Leiter zu verhalten.

Jedes System von zweien oder auch mehreren einander electrisch erregenden Leitern nennt man einen Electromotor.

342. Man denke sich einen Electromotor etwa aus Zink und Kupfer gebildet. Die erregende Kraft wirkt mit solcher Schnelligkeit, dass der Augenblick der Berührung für die sinnliche Wahrnehmung zugleich auch derjenige der Herstellung des Gleichgewichtes ist.

Es werde Electricität von Aussen zugeführt, z. B. + E., gleichgültig auf welcher Seite; sie muss sich über die Flächen beider Körper ausbreiten. Die Dichtigkeit der freien + E. des Zinks nimmt also zu, die freie — E. des Kupfers wird zum Theile, oder vielleicht auch ganz gesättigt. Ist letzteres der Fall und die Zuleitung währt fort, so sammelt sich auch auf dem Kupfer + E. an. Aber unter Voraussetzung unausgesetzter Fortdauer der electromotorischen Kraft muss zwischen der Dichtigkeit der + E. des Zinks und des + E. des Kupfers stets ein Unterschied bleiben, und dieser Unterschied muss der Grösse der electromotorischen Kraft proportional seyn, da er nach den Regeln wechselseitiger electrischer Bindung (318), der ganzen an der Berührungsstelle ausgeschiedenen, und so lange die Berührung währt, im gebundenen Zustande verharrenden Electricitätsmenge proportional ist.

Zuführung von + E. ist dasselbe wie Ableitung von — E. Denken wir uns jetzt das Kupferende des Paares in Verbindung mit einem Ableiter. Die freie — E. vermindert sich, die freie + E. nimmt zu, bis zuletzt alle freie — E. des Kupfers verschwunden ist und dafür die + E. des Zinks eine der Grösse der electromotorischen Thätigkeit entsprechende Dichte angenommen hat. Von dem Augenblicke an tritt keine weitere Aenderung ein, so lange auch das Kupfer mit der Erde in Berührung bleiben mag, weil die erregte + E. des Zinks in Folge des Widerstandes der electromotorischen Kraft, in der Richtung des Kupfers nicht entweichen kann. Ein eben so grosses Uebergewicht an freier — E. würde sich an der Kupferseite erzeugen müssen, wenn man diese isolirte, dagegen das Zink mit einem Ableiter, z. B. mit der Collectorplatte des Condensators verbände.

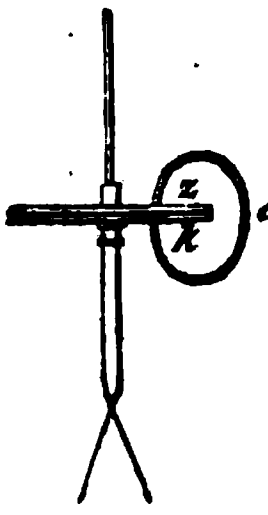
Die Bedingungen der Ladung des Condensators mittelst eines Erregerpaares, sind mit Rücksicht auf die vorstehenden Erläuterungen leicht zu übersehen. Man begreift, dass die Ladung vollendet seyn muss, wenn das Uebergewicht an freier Electricität in der Collectorplatte diejenige Dichte besitzt, welche das freie Fluidum auf der damit in Verbindung stehenden Seite des Electromotors überhaupt annehmen kann, und welche, wie vorher ge-

zeigt worden ist, mit der Grösse der electromotorischen Kraft im geraden Verhältnisse steht.

Die durch ein gegebenes Erregerpaar bewirkte Ladung des Condensators kann daher als relatives Maass gelten für die Intensität der electromotorischen Thätigkeit.

343. Man findet, dass der Condensator eine gleichstarke Ladung annimmt, beide Bestandtheile des Erregerpaars mögen sich nun an vielen oder auch nur an wenigen, ja selbst nur an einem einzigen Puncte berühren. Verbindet man z. B. die beiden Platten des Zink-Kupfer-Condensators einen Augenblick mit einem Stücke umgebogenen Zink- oder Kupferdraht *z a k* (Fig. 123), so dass die erregende Kraft sich wirklich nur an einem Puncte äussern kann, so wird gleichwohl nach dem Abheben der Deckelplatte derselbe Ausschlag erhalten, wie wenn beide Metalle einander eine noch so grosse Anzahl Berührungspuncte darbieten, denn die Stärke der Ladung hängt von der Intensität der Erregung ab, die an jedem Berührungspuncte gleich ist, nicht aber von der ganzen Menge ausgeschiedener Electricität, welche grösstentheils im gebundenen Zustande verharrt. Die Anzahl der Berührungspuncte kann also nur auf die Zeit, während der die Ladung sich bewerkstelligt, einen Einfluss äussern. Anders ist es, wenn beide Theile des Erregerpaars nach der Berührung wieder getrennt werden, weil in diesem Falle alle ausgeschiedene Electricität zugleich als freie Electricität zum Vorschein kommt.

Fig. 123.



344. Auf die Stärke der Ladung, welche der Condensator annehmen kann, ist es ferner ganz ohne Einfluss, ob Kupfer und Zink nur in einfacher oder ob sie in derjenigen innigeren Berührung stehen, die durch Zusammenlöthen erhalten wird. Es ist ganz ohne Einfluss, ob beide Theile des Erregerpaars isolirt sind, oder ob der eine oder andere, nur nicht beide zugleich, mit noch irgend einem andern Ableiter, ja mit der Erde selbst in leitender Verbindung stehen. — Der Kupferdraht *z a k* (Fig. 123), welcher die Zinkplatte mit der Kupferplatte des Condensators verbindet, werde z. B. bei *a* durchgeschnitten und der obere Abschnitt mit der einen Hand, der untere mit der andern Hand gefasst. Die an der Contactstelle bei *z* erregte — E. (des Kupfers) ist in diesem Falle durch nichts gehindert in die Erde abzufliessen; die untere Kupferplatte des Condensators kann folglich, ausschliesslich nur durch die bindende Kraft der an der Zinkfläche angesammelten + E. geladen werden. Da gleichwohl die Stärke der Ladung dieselbe bleibt, wie wenn der Verbindungsdraht bei *a* an einer isolirenden Handhabe gehalten würde, muss man schliessen, dass die Dichtigkeit des freien

Fluidums an der Zinkseite genau in dem Maasse zugenommen hat, als die an der Kupferseite sich verminderte.

345. Die Ungleichheit im electrischen Zustande des Zink-Kupferpaars, welche sich bei dem Zinke durch freie positive Electricität von der Dichtigkeit + e, bei dem Kupfer durch freie negative Electricität von der Dichtigkeit — e′ ausdrückt, nennt man den electrischen Unterschied (die electrische Differenz) des Erregerpaars. Aus den in den vorhergehenden Paragraphen mitgetheilten Erfahrungen geht hervor, dass: wie veränderlich die Werthe + e und — e′, jeder derselben für sich betrachtet seyn mögen, ihre Differenz: + e — (— e′) = e + e′ eine beständige Grösse behauptet.

Diese Beständigkeit der electrischen Differenz beweist eine unveränderliche Fortdauer der electromotorischen Kraft, so lange die Berührung währt.

Es sey im Allgemeinen e + e′ = 2d. Man berühre die Kupferseite des electromotorischen Paars mit dem Finger; alle freie — E. wird dadurch abgeleitet; d. h. e′ wird gleich 0, e verwandelt sich in 2d. Diess ist also die grösste Dichtigkeit, welche das freie Fluidum auf der einen oder andern Seite erhalten kann. Durch die wechselseitige Erregung müssen stets gleiche absolute Mengen + E. und — E. ausgeschieden werden. Sind daher beide Körper von ganz gleichem Umfange, z. B. Kugeln von gleichen Durchmessern und gleich gut isolirt, so muss sich im Augenblicke der Berührung über die Oberfläche der Zinkkugel eben so viel freie positive, wie über die Kupferkugel negative Electricität verbreiten, und die Dichtigkeit auf jeder Seite ist d.

Angenommen, mit der Kupferseite werde irgend ein Leiter von begränztem Umfange in Verbindung gebracht, etwa eine Kugel, deren Oberfläche sich zu der der Zinkkugel wie n : 1 verhält. Die Dichtigkeit des freien Fluidums auf dem Kupfer sinkt dadurch von d auf x; und in Folge neuer Erregung muss die des freien Fluidums auf dem Zinke um denselben Unterschied $d - x$ anwachsen; gleich als wäre nicht nur von dem Kupfer, sondern auch von dem Zink, eine der Oberfläche beider gleichgrossen Körper und der Dichtigkeit $d - x$ entsprechende Electricitätsmenge, im Ganzen also $2(d - x)$ abgeleitet worden. Hierdurch nun ist ein anderer Leiter, nach Annahme von n facher Oberfläche, mit Electricität von der Dichtigkeit x geladen worden. Es ist daher

$$2(d - x) = nx$$

woraus folgt: $x = \frac{2d}{n + 2}$.

Es werde z. B. eine Zinkkugel mit einer Kupferkugel von doppeltem Umfange in Berührung gebracht, so ist $n = 1$, daher $x = \frac{2}{3} d$; die Dichtigkeit der + E. des Zinks muss folglich bis zu $\frac{4}{3} d$ steigen.

346. Der electrische Zustand, welchen ein Körper bei der Berührung annimmt, hängt wesentlich von der Beschaffenheit des Stoffes ab, womit er in Berührung gebracht wird; z. B. Kupfer mit Zink wird negativ electrisch, Kupfer mit Platin positiv. Unter den einfachen Stoffen, deren Verhalten in dieser Beziehung genau bekannt ist, stellt sich nachfolgende Ordnung heraus:

Sauertsoff,	Gold,
Schwefel,	Silber,
Kohlenstoff,	Kupfer,
Platin,	Blei,

Eisen,	Wasserstoff,
Zinn,	Natrium,
Zink,	Kalium.

In dieser Reihe, der sogenannten electrischen Spannungsreihe wird je der vorhergehende Körper durch Berührung mit irgend einem der nachfolgenden negativ electrisch. Also Sauerstoff mit irgend einem andern Körper berührt, gelangt stets in den negativ electrischen Zustand; Kupfer wird positiv electrisch mit Kohlenstoff, mit Platin u. s. w., negativ wird es mit Blei, Eisen, Zink u. a. m.

347. Die Ordnung nach welcher die einfachen Stoffe in der Spannungsreihe auf einder folgen, hat aber noch eine weitere Bedeutung. Man findet, dass zwischen zweien Körpern im Augenblicke der Berührung eine um so grössere electromotorische Thätigkeit geweckt wird, je weiter sie in der Reihe von einander abstehen; z. B. Platin mit Silber wird negativ electrisch, aber stärker wird es durch Kupfer, noch stärker durch Zink erregt u. s. w.

Werden mehrere Glieder der Spannungsreihe zu einer Kette verbunden, wie Platin-Kupfer-Zink, so muss an jeder Uebergangsstelle von einem Stoffe zum andern, electrische Erregung eintreten. Die Resultante aller dieser Wirkungen ist aber stets gleich der Grösse der Erregung (der electrischen Differenz) der beiden äussersten Glieder, gerade so als befänden sie sich in unmittelbarer Berührung. Sind die äussersten Glieder gleichartig, z. B. beide Zink, so findet gar keine Wirkung statt.

Beispiel: Man verbinde beide Platten des Kupfer-Zink-Condensators durch einen Kupferdraht, und messe die Stärke der hierdurch erhaltenen Ladung; man verwechsle sodann den Kupferdraht mit irgend einem andern Metalldrahte, z. B. einem Blei- oder Eisen- oder Platindrahte, oder auch mit einem aus mehreren Metallen gebildeten Bogen. Die Grösse der Ladung wird sich nicht ändern.

An der Berührungsstelle von Zink und Eisen entsteht eine electrische Erregung, deren Stärke durch die Differenz $2\,d'$ ausgedrückt werden mag. Kommt das Eisen in leitende Verbindung mit der Erde, so muss folglich die Dichtigkeit der freien + E des Zinks bis zu $2\,d'$ anwachsen. Gesetzt, der Uebergang zur Erde werde durch einen Bleidraht vermittelt (Fig. 124), und die electrische Differenz an der Berührungsstelle von Blei und Eisen sey $2\,d''$, so muss freie + E. von der Dichtigkeit $2\,d''$ sich über die Oberfläche des Eisens und Zinks, wie über einen gleichartigen Leiter von derselben Gestalt ergiessen. Durch den Widerstand $2\,d'$ zwischen Zink und Eisen, kann dieser Uebergang nicht aufgehalten werden, weil der Widerstand, d. h. die electromotorische Kraft $2\,d'$ bereits mit dem Bestreben der ausgeschiedenen Flüssigkeiten des Zinks und Eisens, sich wieder zu vereinigen im Gleichgewichte steht (341). Auf dem Zink muss sich daher freie + E. von der Dichtigkeit $2\,(d' + d'')$ ansammeln. Steht das Blei wieder mit Kupfer und dieses erst mit der Erde in Verbindung (Fig. 125) so bildet sich an der Berührungsstelle der beiden letzten Metalle die electrische Differenz $2\,d'''$, und freie + E. von der Dichtigkeit $2\,d'''$ verbreitet sich ungehindert über Blei, Eisen und Zink. Nach hergestelltem Gleichgewichte müssen folglich diese drei Metalle mit freier positiver Electricität behaftet seyn, und zwar herrscht

Fig. 124.

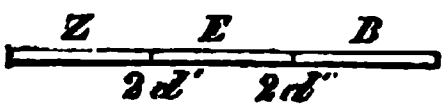
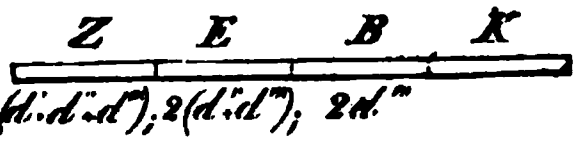


Fig. 125.



auf dem Zinke die Dichtigkeit 2 ($d' + d'' + d'''$); auf dem Eisen die Dichtigkeit 2 ($d'' + d'''$;) auf dem Blei die Dichtigkeit 2 d'''; nur auf dem Kupfer ist gar keine freie Electricität. — Nun findet man, dass wenn das Zinkende dieser zusammengesetzten Metallkette mit der Zinkplatte des Condensators, das Kupferende mit der Kupferplatte des Condensators verbunden wird, die Wirkung, von der eines einfachen Zink- oder Kupferbogens nicht im geringsten verschieden ist; man muss hieraus schliessen, dass die Summe der Erregungen des Zinks mit Eisen, des Eisens mit Blei, des Bleis mit Kupfer, an Grösse gleich ist der Erregung (2 d) des Zinks mit Kupfer; und im Allgemeinen: **dass die Stärke der Erregung zweier Glieder der Spannungsreihe, gleich ist der Summe der Erregungen aller Zwischenglieder.**

Wird dem Kupferende der Metallkette, die mit Zink beginnt, ein nicht isolirter Zinkstreifen angereiht, so entbindet sich negative Electricität bis zu der Dichtigkeit $2\,d = 2\,(d' + d'' + d''')$ an der Berührungsstelle des Kupfers und verbreitet sich von hier aus ungehindert über alle Kettenglieder. Auf dem vordersten Zink verschwindet daher alle freie Electricität. Das Eisen erhält — E. von der Dichtigkeit 2 d'; das Blei — E. von der Dichtigkeit 2 ($d' + d''$); das Kupfer — E. von der Dichtigkeit 2 d; die electrische Differenz der beiden äussersten Glieder ist folglich 0.

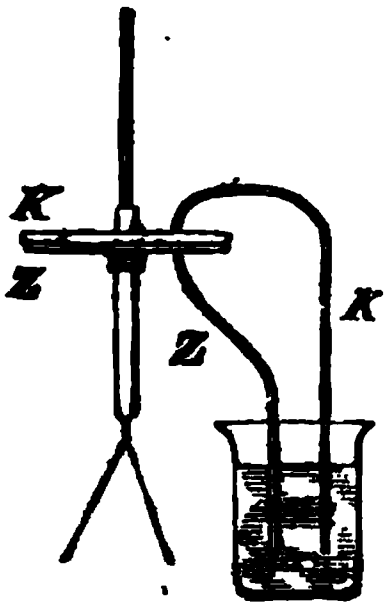
Auf ähnliche Weise erklärt es sich warum Platin oder Kohle und überhaupt ein Körper, der in der Spannungsreihe dem Sauerstoff näher steht als Kupfer und Zink, zwischen diesen beiden Metallen eingeschaltet, ihre electrische Differenz nicht verändern kann.

In welcher Ordnung mithin verschiedene Glieder der Spannungsreihe aneinandergereihet werden mögen, ihre electrische Differenz wird immer derjenigen der beiden Ende-Glieder bei unmittelbarer Berührung entsprechen. An der Berührungsstelle von Sauerstoff und Kalium muss folglich die grösste electrische Erregung entstehen, welche durch Körper die eine Stellung in der Spannungsreihe behaupten, überhaupt erzielt werden kann.

348. Die electrische Spannungsreihe gilt zwar vorzugsweise für die chemisch einfachen Stoffe, indessen kennt man auch mehrere zusammengesetzte Körper, die eine feste Stellung in derselben einnehmen, insbesondere unter den Oxyden und Schwefelmetallen; z. B. Zinnoxyd, Eisenoxyd, Braunstein, Schwefelkies, Schwefelblei u. a. m. sind in diesem Falle. Man findet, dass die Metalle durch Aufnahme von Sauerstoff oder Schwefel hinsichtlich ihres electrischen Verhaltens dem negativen oder Sauerstoffende der Spannungsreihe näher rücken. Z. B. Braunstein nimmt seine Stellung zwischen Platin und Kohlenstoff.

349. Die Mehrzahl der zusammengesetzten Körper, zumal im flüssigen Zustande, wenn schon sie bei der Berührung mit Metallen electrisch erregt werden, lassen sich nicht in die Spannungsreihe einführen.

Fig. 126.



Man tauche einen Kupferstreifen neben einem Zinkstreifen in gewöhnliches Wasser, doch so, dass sie sich nicht berühren können. Das obere Ende des ersteren werde sodann mit der Kupferplatte, das obere Fnde des andern mit der Zinkplatte des Condensators verbunden. Wenn nun das Wasser eine feste Stellung in der Spannungsreihe einnähme, so müste eine Ladung erfolgen, wie bei der unmittelbaren Verbindung

beider Condensatorplatten durch einen Kupferdraht. Es tritt aber gerade der entgegengesetzte Fall ein; die Zinkplatte wird negativ, die Kupferplatte positiv geladen.

Da beide Metalle bei diesem Versuche in keiner unmittelbaren Berührung standen, so folgt, dass die erhaltene Ladung das zusammengesetzte Resultat ist der electrischen Einwirkung des Kupfers und Zinks auf das Wasser. Wässrige Auflösungen, Salzlösungen, Säuren verhalten sich qualitativ ganz ähnlich. Auch der menschliche Körper, wenn er die Verbindung beider Condensatorplatten vermittelt, Holz, wenn es Feuchtigkeit genug enthält, um die Electricität zu leiten, lufttrocknes Papier und viele andere Körper sind in diesem Falle.

Durch feinere electrometrische Untersuchungen hat man gefunden, dass das Zink bei der Berührung mit den genannten Stoffen stets — E. aufnimmt. Kupfer wird durch Wasser und manche Salzlösungen ebenfalls negativ electrisch, aber viel weniger stark als das Zink. Bei der Berührung mit andern, z. B. mit verdünnter Salpetersäure, wird es positiv. Platin erregt, wie es scheint, alle Säuren und Salzlösungen negativ electrisch, während es selbst, und zwar in höherem Grade als das Kupfer, positiv wird.

350. Ein Condensator aus zwei gleichartigen Platten, z. B. aus zwei Kupferplatten bestehend, kann, wenn er durch eine Kette von Körpern, die sämmtlich eine feste Stellung in der Spannungsreihe einnehmen, geschlossen wird, keine electrische Ladung annehmen. Bewerkstelligt man aber die Verbindung beider Platten durch Kupfer, Wasser, Zink, wie in Fig. 126 (vorausgesetzt, dass man für die Collectorplatte statt Zink, Kupfer genommen hat), so wird eine stärkere Ladung erhalten, als Kupfer und Zink allein überhaupt hervorbringeu können.

Fig. 127.

Der Grund ist, weil die von der Einwirkung des Wassers abstamende — E. des Zinks (Fig. 127) sich ungehindert über das mit dem Zink verbundene Kupfer verbreiten kann, während die + E. des Wassers eben so ungehindert auf das damit in Berührung stehende Kupfer überströmt. Gesetzt die Stärke der Erregung des Wassers durch beide Metalle entspreche der Differenz $2\,\delta$, die des Zinks mit Kupfer der Differenz $2\,d$, so muss sich an beiden Enden der Kette, ungeachtet sie aus gleichartigem Stoffe (in unserem Beispiele aus Kupfer) bestehen, ein electrischer Unterschied von der Grösse $2\,(d + \delta)$ ausbilden. Wäre z. B. das eine Kupfer in leitende Verbindung mit der Erde gesetzt, so würde sich auf der Oberfläche des andern freie Electricität von der Dichtigkeit $2\,(d + \delta)$ ansammeln.

351. Diese freie Electricität verbreitet sich mit derselben Leichtigkeit und bis zur Grenze derselben Dichtigkeit über jeden andern guten Leiter, welcher sich dem einen oder andern Kupfer-Ende anschliesst. Werden daher mehrere electromotorische Systeme, wie das Fig. 127, in gleicher Ordnung an einander gereihet, und das eine Ende mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt, so fliesst die freie Electricität des ersten Systems auf das zweite und alle folgenden über, die freie Electricität des zweiten Systems auf das dritte und alle folgenden u. s. f. Nach eingetretenem Gleichge-

wichtszustande muss sich folglich am äussersten isolirten Ende der Kette freie Electricität in einem Grade der Verdichtung angehäuft haben, welcher zur Anzahl verbundener electromotorischer Systeme in geradem Verhältnisse steht. Es seyen z. B. 10 auf einander folgende gleichartige Systeme, so beträgt die electrische Differenz der beiden Endpuncte 10mal 2 $(d + \delta)$. Der Grad electrischer Verdichtung, welcher mittelst einer auf diese Weise zusammengesetzten electrischen Kette erhalten werden kann, ist, wie man sieht, ohne Grenzen und hängt nur von der Anzahl mit einander verbundener Glieder ab.

352. Die zusammengesetzte electrische Kette wurde anfänglich fast nur in Form einer Säule aufgebaut, indem man eine Anzahl Zink-Kupferplatten, je das eine Paar von dem andern durch eine mit Flüssigkeit (Wasser, Salzlösung, verdünnte Säure) getränkte Papp- oder Filzscheibe getrennt, auf einander folgen liess. Zink und Kupfer waren der Bequemlichkeit wegen gewöhnlich zusammengelöthet.

Man hat seitdem noch mannigfaltige andere Formen der Zusammenstellung für bequem oder nützlich gehalten. Der Name electrische Säule ist indessen, ohne Rücksicht auf die Form, für jede Art zusammengesetzter electrischer Ketten geblieben.

Die beiden Endpuncte einer Säule nennt man ihre Pole, und zwar das Ende, an welchem positive Electricität abgeleitet werden kann, den positiven Pol (auch wohl Zinkpol, weil nach dieser Seite hin gewöhnlich eine Zinkplatte den Schluss der Säule bildet, das andere Ende, welches das negative Fluidum liefert, den negativen Pol oder Kupferpol.

353. Die electrische Säule ist ein Behälter für beide Electricitäten und liefert die eine wie die andere in mannichfaltigen Abstufungen der Dichtigkeit und, so lange ihre Wirksamkeit anhält, in fast unerschöpflicher Menge. Als Mittel, das Verhalten der Säule im Gleichgewichtszustande zu studiren, eignet sich vorzugsweise die sogenannte trockne Säule.

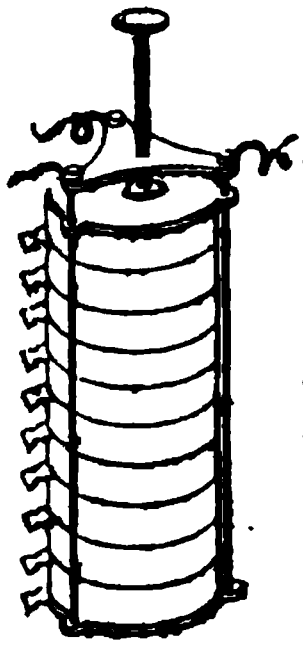
Sie kann auf folgende Weise verfertigt werden: Blätter von unächtem Gold- und Silberpapier werden mit der Papierseite zusammengeheftet und aus den so erhaltenen Tafeln, die also auf der einen Seite mit einem dünnen Ueberzuge an Zinn, auf der andern mit einem dünnen Ueberzuge von Kupfer versehen sind, Scheiben von beliebigem, z. B. von zwei Zoll, Durchmesser ausgeschnitten. Eine grosse Anzahl, 1000 — 2000, solcher Scheiben im lufttrocknen Zustande, je die Zinnseite der einen auf die Kupferseite der andern aufeinandergeschichtet und zwischen zweien etwas grösseren Metallplatten mittelst Seidenschnüren zusammengehalten, bilden eine trockne Säule. Die Wirksamkeit dieser Geräthschaft gewinnt nichts durch starkes Zusammenpressen der Scheiben. Wesentlich ist es aber, dass Metallfolie und Papier, so wie die

zusammengehefteten Papierseiten sich überall aufs innigste berühren.

Man sieht leicht, dass bei dieser Säule das Papier die Stelle der feuchten Schicht ersetzen soll, auch ist die Wirksamkeit desselben von ganz ähnlicher Art, wie jene (349). Da jedoch das Papier ein unvollkommnerer Leiter ist, als Wasser und wässrige Lösungen, so wird die von der trocknen Säule abgeleitete Electricität, vergleichungsweise langsamer wieder ersetzt.

354. Eine trockne Säule (Fig. 128) an welcher je von der hundertsten Doppelscheibe eine Zunge desselben Metallpapiers hervorsteht, werde auf das Electrometer (Pl. III. Fig. 3.) z. B. den positiven Pol nach Unten gestellt. Man berühre die zweitunterste Zunge mit dem Finger; die hundert ersten Scheiben bilden dadurch gleichsam eine kleine Säule für sich, deren unteres Ende leitend mit dem Electrometer, deren oberes Ende mit Erde in Verbindung steht. Jenes empfängt folglich Electricität aus einer Quelle, worin dieselbe bis zum hundertfachen Betrage der erregenden Kraft jedes einzelnen aus Kupfer, Zinn, Papier, Kupfer gebildeten Electromotors verdichtet ist. Man merke die Grösse des Ausschlags der Goldblättchen und berühre die dritte Zunge (die also die Gränze einer Säule von zweihundert Scheiben bezeichnet), dann die vierte, die fünfte u. s. w. Die hierdurch erfolgenden Ablenkungen der Electrometerpendel, werden der doppelten, dreifachen, vierfachen electrischen Dichtigkeit u. s. w. entsprechen.

Fig. 128.



Die Dichtigkeitszunahmen der Electricität stehen demnach, ganz so wie es die Theorie verlangt (351), im geraden Verhältnisse zu der Anzahl gleichartiger Elemente, woraus die Säule zusammengesetzt ist.

Wird der negative Pol dauernd berührt, so zeigt sich an dem positiven die grösste electrische Anhäufung, welche durch die Kraft der Säule bewirkt werden kann. Electricität von derselben Dichtigkeit theilt sich jedem Leiter mit, der mit diesem Pole in Verbindung gebracht wird, vorausgesetzt nur, dass der Umfang desselben nicht von unbegränzter Grösse ist. An allen übrigen Puncten der Säule findet sich ebenfalls nur positive Electricität, aber ihre Dichtigkeit nimmt gegen den negativen Pol hin stufenweise ab, und an diesem Pole selbst, da er mit der Erde communicirt, ist gar keine freie Electricität. Dreht man die Säule herum, so dass nunmehr der negative Pol auf der Electrometerplatte ruht und berührt man den positiven Pol, so erfolgt ein eben so starker Ausschlag wie vorher, aber jetzt durch angehäufte negative Electricität, deren Dichtigkeit, ganz wie vorher, in arithmetischer Folge, gegen das andere Ende hin sich vermindert. Hieraus geht hervor, dass durch

die Berührung eines Pols, nicht blass von diesem, sondern von jedem einzelnen Elemente der Säule, eine der ganzen electrischen Differenz derselben entsprechende Menge von freier Electricität fortgeführt worden ist. Diese Differenz, oder die ihr entsprechende Dichtigkeit des electrischen Fluidums sey 2 D.

Man berühre die Mitte der Säule. An dieser Stelle sinkt dadurch die Dichtigkeit von D auf 0 herab. Zugleich findet man, dass das freie Fluidum des einen Poles um die Hälfte, nämlich von der Dichtigkeit 2 D bis zu D vermindert worden ist, während an dem andern Pole (an welchem sich vorher keine freie Electricität vorfand) das ungleichnamige Fluidum ebenfalls mit der Dichtigkeit D zum Vorschein kommt. Jedem Elemente der Säule ist folglich, durch die ableitende Berührung des mittelsten Elementes, freie Electricität von der Dichtigkeit D entzogen worden.

Auf gleiche Weise lehrt der Versuch, dass durch die Berührung irgend eines andern Punctes der Säule, nicht nur dem betreffenden, sondern zugleich jedem andern Elemente, freie Electricität von der an der Berührungsstelle herrschenden Dichte entführt wird.

Isolirt man die Säule und setzt dann einen isolirten Leiter von begrenztem Umfange mit irgend einem Elemente derselben in Verbindung, so geht eine Menge von Electricität darauf über, von der Grösse, als ob die ganze Säule mit Electricität von derselben Dichtigkeit, wie an der Berührungsstelle, wäre behaftet gewesen.

Alle diese Eigenschaften der Säule sind nothwendige Folgen des schon früher (345) betrachteten Verhaltens eines einzelnen electrischen Paares. Es sey u die Dichtigkeit der freien Electricität an irgend einem Puncte der Säule; u' die in Folge der Berührung mit einem Körper, dessen electrische Capacität R seyn mag, veränderte Dichtigkeit an dieser Stelle, so ist, wenn die electrische Capacität der Säule selbst mit r bezeichnet wird: $(u - u')\, r = u'\, R$.

Daher $u' = \frac{u\, r}{R + r}$.

Wäre z. B. $R = r$, so entweicht von jedem Elemente der Säule eine der Dichtigkeit $\frac{u}{2}$ entsprechende Electricitätsmenge.

355. Das Bohnenberger'sche Electroscop.

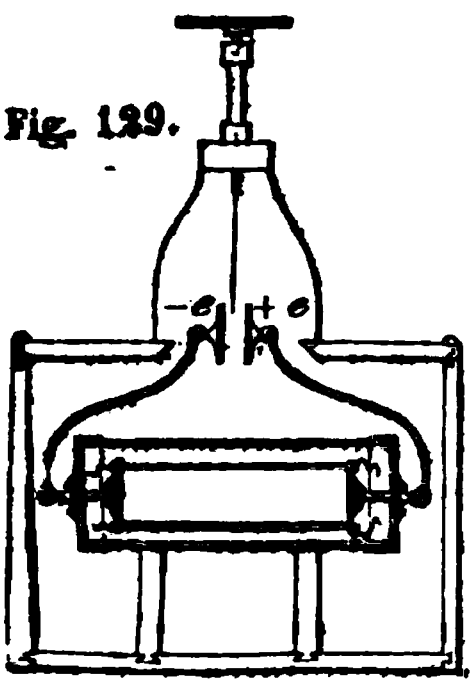


Fig. 129.

Die trockne Säule bildet den wesentlichsten Bestandtheil einer sehr empfindlichen electroscopischen Vorrichtung, welche nach dem Namen ihres Erfinders; das Bohnenberger'sche Electroscop genannt wird. Fig. 129 zeigt dieses Instrument in der Gestalt, welche demselben gegenwärtig nach Fechners Vorschrift gegeben wird (Pogg. Ann. Bd. XXXXI. S. 225). Eine horizontal liegende trockne Säule aus 800 — 1000 Doppelscheiben von unächtem Gold- und Silberpapier, jede ungefähr 2 Zoll im Durchmesser haltend, gebildet, ist in einem gefirnissten

Glascylinder eingeschlossen und dadurch isolirt. Beide Oeffnungen sind durch Messing-Kappen luftdicht geschlossen. Diese Kappen stehen mit den Polen der Säule in leitender Verbindung. An den Aussenflächen derselben sind dicke, an Gelenken auf und nieder bewegliche Drähte befestigt, mittelst welcher die Electricität zu den kleinen Scheiben $+ e$ und $- e$ geleitet wird, die ebenfalls an Gelenken hängen und dadurch verschiedene Stellungen erhalten, so wie auch beliebig nahe zu einander gerückt werden können. Die Säule sitzt in einem Kasten von Holz, aus welchem nur die oberen Enden der Drähte nebst den Scheibchen durch eine passende Oeffnung isolirt hervorgehen. Die eine dieser kleinen Scheiben ist begreiflicher Weise stets mit positiver, die andere stets mit negativer Electricität geladen. Zwischen beiden hängt ein Goldblättchen von wenigstens 3 Zoll Länge und nicht mehr als ½ Linie Breite. Es steht mit einer auf der Glasglocke, ganz so wie bei andern Electroscopen, isolirt aufsitzenden Metallplatte in leitendem Zusammenhange.

Die gleichzeitige und gleich starke Einwirkung beider Pole der Säule auf das Goldblättchen, gestattet keine Vertheilung der natürlichen Electricitäten desselben. Es schwebt daher, so lange ihm keine Electricität von Aussen zufliesst, in der Mitte zwischen beiden Scheibchen. So wie man aber der oberen Metallplatte die geringste Menge Electricität mittheilt, wird es von dem gleichnamigen Pole abgestossen, von dem ungleichnamigen angezogen.

Eine Bewegung nach dem — Pole beweist also die Gegenwart von freier + E., eine Bewegung nach dem + Pole die Gegenwart von freier — E. in dem Goldblättchen.

Das Bohnenberger'sche Electroscop, auf die beschriebene Weise verfertigt, besitzt einen vordem nicht gekannten Grad der Empfindlichkeit. Dieselbe hängt theils von der geringen Breite des Goldblättchens ab, welches, da die freie Electricität sich doch vorzugsweise an den Kanten anhäuft, bei beträchtlich verringertem Gewichte, kaum weniger davon aufnimmt, als ein zwei bis dreimal breiteres Blättchen; theils aber auch von der Dicke der trocknen Säule. Der Theorie nach sollten zwar zwei Säulen, aus Doppelscheiben von ungleicher Grösse zusammengesetzt, wenn diese nur von gleichartiger Beschaffenheit und der Zahl nach gleich sind, an den Polen eine ganz gleiche electrische Dichtigkeit besitzen und diese folglich auch auf die Scheibchen $+ e$ und $- e$ des Electroscops übertragen. Allein da fortwährend ein Theil des freien Fluidums an beiden Endpuncten durch die Luft entführt und der Wiederersatz durch die schlecht leitende Papiermasse einer gewissen, wenn auch geringen Zeit bedarf, so kommt es, dass bei Anwendung einer dickeren Säule, die Electricität an den hervorstehenden Enden der Drähte das Maximum ihrer Dichtigkeit dauernder behauptet.

Schraubt man eine reine, glatt polirte Kupferplatte von 3 Zoll Durchmesser auf dieses Instrument und bedekt sie mit einer ähnlichen Zinkplatte, so bewirkt das Abheben der letzteren eine sehr starke Ablenkung des Goldblättchens. Eben so leicht überzeugt man sich durch den Versuch, dass die Stärke des Ausschlags mit der Grösse der Berührungsflächen (wagerechtes Abheben immer vorausgesetzt) zunimmt.

Holz, Papier, Glas oder irgend ein anderer Körper mit genügend glatter Oberfläche vor einer auf das Electroscop geschraubten Metallplatte, z. B. einer

Zinkplatte, ohne Reibung abgehoben, wird in der Regel einen deutlichen Ausschlag verursachen, wobei das Metall gewöhnlich negativ electrisch wird.

Um mittelst des Bohnenberger'schen Electroscops die Einwirkung eines Metalls auf eine Flüssigkeit zu prüfen, bedient man sich eines Condensators, dessen Collectorplatte aus dem betreffenden Metalle verfertigt ist; als Deckelplatte dient eine möglichst dünne, geschliffene Glasscheibe, auf welcher die Flüssigkeit entweder unmittelbar ausgebreitet wird, oder die man mit durch die Flüssigkeit benetztem Löschpapier bedeckt. Die Verbindung wird dann wie gewöhnlich durch einen Metalldraht hergestellt.

356. Obschon der Grad electrischer Verdichtung, der durch Zusammensetzung einer genügenden Anzahl Erregerpaare erzielt werden kann, theoretisch betrachtet ohne Gränzen ist, so würde doch, um mittelst einer Säule Electricität von der Dichte zu gewinnen, wie man sie z. B. auf dem Conductor der Maschine erhält, eine ausserordentlich grosse Anzahl Paare erforderlich seyn. An den Polen der meisten Säulen, die verfertigt werden, zeigt sich daher eine Electricität von vergleichungsweise sehr geringer Spannung. Bei den trocknen Säulen, da sie keinen grossen Raum einnehmen und ihre Wirksamkeit lange Zeit (unter günstigen Verhältnissen viele Jahre hindurch) anhält, lässt sich die Aufeinanderschichtung sehr vieler Paare am leichtesten bewerkstelligen.

Durch Errichtung von Säulen, aus 8 — 10 tausend Paaren bestehend, hat man es dahin gebracht, dass auf die gleichzeitig beiden Polen genäherten Hände ein Strom kleiner Funken überging.

Mit Hülfe eines electrischen Verstärkungsapparates (Fränklin'sche Tafel; Condensator) kann man indessen auch die Electricität kleinerer Säulen bis zum Ueberspringen eines lebhaften Funkens verdichten; und da die von der Säule abgeleitete Electricität sich mit Schnelligkeit immer wieder ersetzt, so lassen sich solche Versuche oft hinter einander wiederholen.

357. Electrische Ketten, aus Metallen und Flüssigkeiten zusammengesetzt, können ohne grosse Umstände nicht sehr viele Glieder enthalten. Die freie Electricität an ihren Polen äussert aus diesem Grunde in der Regel (unmittelbar) keine sichtbare Wirkung auf das Goldblattelectrometer. Um das statische Verhalten einer nassen Säule zu prüfen, lässt sich daher der Condensator nicht entbehren.

Die Figur 130 zeigt eine kleine zusammengesetzte Kette, welche

Fig. 130.

so eingerichtet ist, dass vermittelst Leitungsdrähten jedes Glied derselben für sich oder auch mehrere oder alle Glieder zusammen mit dem Condensator verbunden werden können. Sämmtliche zusammengelöthete Zink- und Kupferstreifen hängen auf hervorstehenden Zungen einer Latte PP′, die zwischen Einschnitten der Pfeiler P und P′ auf und nieder beweglich ist. Die Metalle können auf diese Weise gleichzeitig in die Flüssigkeiten eingetaucht und gleichzeitig wieder herausgehoben werden; eine Anordnung, welche desshalb nothwendig ist, weil nasse Säulen (aus Gründen, die erst in der Folge erklärt werden können) nur kurze Zeit in voller Wirksamkeit bleiben. Je ein Kupferstreifen mit dem Zinkstreifen des folgenden Paares tauchen in die Flüssigkeit desselben Becherglases, wodurch die Ordnung: Zink, Kupfer, Flüssigkeit, Zink u. s. f. hergestellt wird. Die Electricität an den Polen dieser Säule, welche mit Bequemlichkeit aus nicht mehr als 20 — 30 Gliedern bestehen kann, ist so schwach, dass das Holz im lufttrocknen Zustande als vollkommener Nichtleiter dafür angesehen werden kann.

Wird der Condensator nach einander durch ein, zwei, drei und mehr Paare geladen, so findet man, was sich bei der trocknen Säule schon durch die unmittelbare Einwirkung auf das Electrometer gezeigt hat, dass die Ladungen der Anzahl der Paare proportional sind, und dass also die electrische Differenz von einem Paare zum andern sich stufenweise vergrössert.

Es ist bei diesen Versuchen ganz gleichgültig, ob die Leitungsdrähte beide oder ob nur einer derselben isolirt zu dem Condensator geführt wird. Man sieht hieraus, dass die electrische Differenz der ganzen Kette, gleich wie die eines einzelnen Gliedes derselben, eine beständige Grösse ist.

Wird irgend ein Glied der Kette in verkehrter Ordnung eingeschaltet, d. h. in der Reihe: Kupfer, Zink, Flüssigkeit, Zink, Kupfer; so ist die electromotorische Thätigkeit desselben derjenigen des übrigen Theils der Kette entgegengesetzt, und hebt folglich einen Theil davon auf. Z. B. eine Säule von 20 Paaren, worunter das eine verkehrt eingesetzt ist, besitzt die electrische Differenz von nur 18 Paaren.

Die electrische Kraft der Säule ändert sich begreiflicher Weise auch mit der Natur der Stoffe, woraus sie gebildet ist. Vertauscht man z. B. das Kupfer mit Platin oder besser noch mit Kohle, so vergrössert sich unter sonst gleichen Verhältnissen die electrische Differenz, weil diese Körper in der Spannungsreihe weiter als das Kupfer von dem Zink entfernt liegen.

Die Beschaffenheit der Flüssigkeit ist nicht weniger von Bedeutung, weil verschiedene Flüssigkeiten auf die eingetauchten Metalle eine sehr ungleiche electrische Einwirkung äussern. Z. B. das Platin wird vom Wasser in geringem Grade negativ, von verdünnter Schwefelsäure aber, und mehr noch von Salpetersäure,

positiv erregt. Das Zink wird negativ bei der Berührung mit Wasser und Säure. In einer Kette, nach der Ordnung: Zink, Platin, Wasser, Zink zusammengestellt, ist folglich die Einwirkung zwischen Platin und Wasser derjenigen der übrigen Stoffe entgegengesetzt. Vertauscht man aber das Wasser mit Säure, so addirt sich ihre electromotorische Thätigkeit auf das Platin zu den an den übrigen Contaktstellen stattfindenden Erregungen. Die electrische Differenz muss folglich wachsen.

Die Flächengrösse der in Berührung stehenden Leiter hat nicht den geringsten Einfluss auf die Stärke der bewegenden Kraft einer Säule, oder auf die an ihren Polen hervortretende electrische Differenz; denn die Stärke der Erregung an jeder Contaktstelle hängt nicht von der Anzahl Berührungspuncte, sondern lediglich von der chemischen Natur der in Berührung stehenden Stoffe ab (343). Mit der Zahl der Berührungspunkte vermehren sich aber die Uebergangsstellen für das erregte electrische Fluidum; wenn schlechte Leiter, wie Flüssigkeiten, Bestandtheile einer electrischen Kette bilden, äussert daher die Flächengrösse gleichwohl einen wesentlichen Einfluss auf die Schnelligkeit, womit die entladene Säule ihre frühere Ladung wieder annimmt. Man begreift hiernach, dass um recht grosse Mengen von Electricität mittelst einer electrischen Kette in Bewegung setzen zu können, es nothwendig wird, Metallflächen (z. B. Zink und Kupferstreifen) von bedeutendem Umfange, einander gegenüber in die Flüssigkeit einzutauchen, ungeachtet die Wirkung auf das Electrometer nicht im geringsten dadurch verstärkt werden kann. Mannigfaltig veränderte Formen, die man im Laufe der Zeit der electrischen Säule gegeben hat, bezweckten hauptsächlich: für die entwickelten Electricitäten, aus dem Raum der Säule selbst einen möglich erleichterten Abfluss zu gewinnen.

358. Die electrische Spannung an den Endpuncten selbst der grössten nassen Säulen, die man bis jetzt erbaut hat, ist so gering, dass die kleinste messbare Luftschicht den Uebergang beider Electricitäten zu einander vollkommen unterbricht.

Im Augenblick der Verbindung oder der Trennung beider Pole zeigt sich gleichwohl die Erscheinung eines Funkens.

Um den Schliessungs- oder Trennungs-Funken bei einer kleinen und nur aus wenigen Paaren bestehenden Säule sichtbar zu machen, ist es nöthig, den Uebergang der Electricität von einem Ende zum andern durch gut leitende Spitzen zu vermitteln.

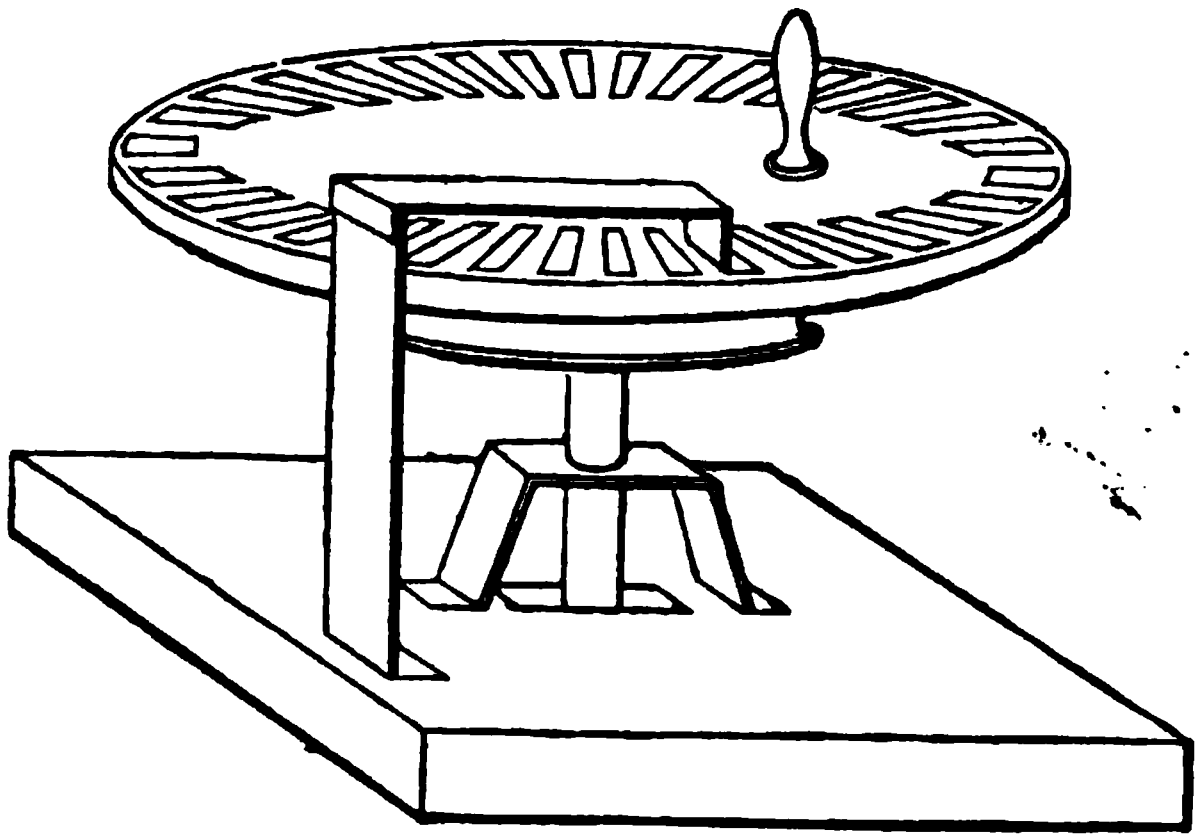
Man pflegt an der Kupferplatte des einen Pols eine Vertiefung anzubringen, gross genug, um einen dicken Tropfen Quecksilber aufnehmen zu können. In diesen wird dann ein dünner, am andern Pole angelötheter Kupfer- oder Platindraht eingetaucht und wieder herausgezogen. Jede solche Schliessung oder Trennung der Säule bewirkt einen Funken. Es ist gut, die Bodenfläche des kleinen Näpfchens mit etwas salpetersaurem Quecksilber zu amalgamiren, um dadurch die Berührung zwischen Kupfer und Quecksilber inniger zu machen und den Uebergang der Electricität zu erleichtern.

Viele und grosse Paare erzeugen, oftmals hinter einander, Funken von so lebhaftem Glanze, dass sie mitten in der Flamme einer Kerze sichtbar bleiben. Uebrigens hat man gefunden, dass wenige, recht grosse Paare, d. h. recht grosse, in die Flüssigkeit eingesenkte Metallstreifen, das Auftreten starker Funken weit mehr begünstigen, als eine grössere Anzahl von kleinem Umfange. Man sieht hieraus, dass der Schliessungs- und Trennungs-Funken weniger eine stark gespannte Electricität als vielmehr recht grosse Electricitätsmengen erfordert.

359. Wenn man beide Pole gleichzeitig mit den (durch Salzwasser befeuchteten) Fingern berührt, empfindet man im ersten Augenblicke einen eigenthümlichen Nervenreiz, welcher, unter dem Einflusse einer sehr starken Säule bewirkt, der Empfindung eines schwachen electrischen Schlages ganz ähnlich ist. Dieser Reiz ist aber nur momentan, auch bei fortdauernder Berührung. Aber jede Wiederholung des Versuchs, so oft und so schnell hinter einander es geschehen mag, erneuert die Empfindung; und diese Eindrücke in schneller Folge auf einander lassen sich bis zur Unerträglichkeit steigern. Dabei bemerkt man in den Theilen des Körpers, welche als Verbindungsglied beider Pole der Kette dienen, eine zitternde Bewegung oder ein fortdauerndes Zusammenziehen und Wiederausdehnen der Muskeln. Zur Anstellung dieser Versuche eignet sich vorzugsweise das von Neeff ersonnene Blitzrad. (Pogg. Ann. 36, S. 352.)

Eine horizontale Kupferscheibe (Fig. 131) 1½ Linie dick 6½ Zoll im Durch-

Fig. 131.



messer, dreht sich um eine vertikale Axe, welche, ebenfalls von Kupfer, mit der Scheibe aus einem Stücke besteht. Ein Messingbügel, der auf einem Brette befestigt ist, hält sie in ihrer Richtung. In der Mitte hat dieses Brett eine Vertiefung, mit Kupfer ausgefüttert, worin die konisch zugespitzte Axe sich dreht, und in welche etwas Quecksilber gegossen wird, um mittelst des eingesenkten

Leitungsdrahtes eine innige metallische Verbindung des einen Pols einer Säule mit der horizontalen Scheibe zu bewerkstelligen. Am Rande der Scheibe sind 36 Oeffnungen angebracht, von 3 — 4½ Lin. Breite und in der Richtung der Radien 10 Lin. Länge; sie sind sämmtlich mit hartem, glattem Holze ausgefüllt und lassen zwischen sich nur schmale metallische Uebergänge. Seitwärts befindet sich ein 7 Linien breiter, ⅓ Linie dicker Kupferstreifen, dessen eines Ende auf einem Fusse von erforderlicher Haltbarkeit befestigt ist, während das andere, umgebogene Ende auf dem Rande der Scheibe, so wie die Figur zeigt, ruht. Mit diesem Streifen wird der andere Pol der Säule verbunden. — Man sieht, dass in Folge dieser Anordnung bei jeder Umdrehung der Scheibe die electrische Kette 36mal geschlossen und wieder geöffnet wird. Da nun in jeder Sekunde leicht mehrere Umdrehungen stattfinden können, so kann man es dahin bringen, diese Abwechslungen äusserst schnell auf einander folgen zu lassen. Jede Schliessung oder Trennung bewirkt den Uebergang eines Funkens, daher bei Anwendung starker Säulen und bei schneller Umdrehung ein ununterbrochener Strom von glänzendem Lichte zwischen der Scheibe und dem Entladungsstreifen überzutreten scheint.

Um mit diesem Apparat den electrischen Nervenreiz zu verstärken, fülle man zwei Becher von Metall mit schwach gesäuertem oder Salzwasser, und verbinde den einen vermittelst eines Leitungsdrahtes mit dem Blitzrade, den andern mit dem Pole einer electrischen Säule, deren anderes Ende mit dem andern Ausgangspuncte des Blitzrades in Verbindung steht. Man taucht dann die Finger zugleich in beide Becher, während die Scheibe gedreht wird. Man hat es ganz in seiner Gewalt, durch Vergrösserung und Vermehrung der electrischen Paare, so wie, bis zu einer gewissen Gränze hin, durch Beschleunigung der Umdrehung, den Effect beliebig zu verstärken.

360. Auf die empfindlicheren Theile des Organismus äussert schon die mittelst der gewöhnlichen electroscopischen Werkzeuge gar nicht wahrnehmbare, von der electromotorischen Thätigkeit eines einzigen Erregerpaares abstammende Electricität einen unverkennbaren und oft sogar sehr auffallenden Einfluss.

Man lege die breite Fläche eines silbernen Löffels auf die Zunge und berühre mit der Zungenspitze ein Stück Zink, dessen anderes Ende mit dem Stiele des Löffels in Berührung steht. Man wird sogleich einen eigenthümlichen, stechenden, säuerlichen Geschmack empfinden, der nicht zur Natur des Zinks gehört, denn er verschwindet, so wie man die Berührung beider Metalle unterbricht.

Derselbe Geschmack wird empfunden, wenn man das Zinkende des Erregerpaares mit der Zungenspitze berührt, das Silberende mit durch Salzwasser befeuchteten Fingern ergreift.

Auch die Berührung des Zinks mit der Zunge ist zur Hervorbringung dieser Erscheinung nicht wesentlich. Man giesse Wasser in eine kleine Schale von Zink und berühre die Oberfläche der Flüssigkeit mit der Zunge, während man den mit feuchten Fingern gefassten Löffel an die Aussenwand der Schale hält; sogleich wird der säuerliche, brennende Geschmack entstehen.

Man halte ein Stück reines Zink zwischen die Augenlieder. So oft man dasselbe mit einem Stücke Silber, das mit feuchten Fingern gehalten wird, berührt, oder die Verbindung wieder trennt, bemerkt man vor den festgeschlossenen Augen einen Lichtblitz.

Man lege auf die Mitte einer ziemlich grossen Zinkscheibe ei-

nen Thaler und auf diesen einen Blutegel. So wie dieser, im Begriffe herunterzukriechen, mit dem Zink in Berührung kommt und dadurch die Kette schliesst, wird er convulsivisch zurückprallen.

Aehnliche Muskelkontraktionen hat man bei vielen Thieren hervorgebracht; bei einzelnen Gliedmassen sogar noch eine kurze Zeit nach dem Tode. Kaltblütige Thiere, insbesondere Frösche, behalten ihre electrische Erregbarkeit noch Stunden lang nach dem Tode. Froschschenkel, bei welchen die Nerven blossgelegt sind, zeigen gegen jede electrische Einwirkung einen so hohen Grad der Empfindlichkeit, dass man sie früher als das geeignetste Hülfsmittel zur Wahrnehmung electromotorischer Thätigkeit benutzt hat.

Der electrische Nervenreiz gab die erste Veranlassung zur Entdeckung der Berührungselectricität. Diese Entdeckung ist im Jahre 1790 von Aloysius Galvani, Professor der Anatomie zu Bologna, ganz zufällig gemacht worden. Er bemerkte nämlich, dass präparirte Froschschenkel, die mittelst kupferner Hacken an einem eisernen Gitter aufgehängt waren, in Zuckungen geriethen, sobald sie mit dem Eisen in Berührung kamen; und da er schon früher die Beobachtung gemacht hatte, dass ähnliche Zuckungen oder Muskelzusammenziehungen durch die Maschinenelectricität beim Durchgange durch die Nerven eines eben erst getödteten Frosches bewirkt wurden, so verfiel er sogleich auf die Idee, dass auch bei der neuen Erscheinung, die sich ihm darbot, Electricität im Spiele seyn müsse. Nach seiner Vorstellung bildete aber der thierische Organismus selbst die Quelle dieser Electricität; er dachte sich Nerven und Muskeln, ähnlich den Belegungen einer Leidner Flasche mit entgegengesetzten Electricitäten beladen, deren Uebergang zu einander durch den metallischen Leiter vermittelt werde. Galvani's Entdeckung verbreitete sich sehr schnell, und die von ihm hypothetisch angenommene thierische Electricität wurde Galvanismus, auch Galvanische Electricität genannt. Daher die Ausdrücke: Galvanischer Nervenreiz; Galvanische Kette, für einfache electrische Kette; Galvanisiren für Electrisiren mittelst einer einfachen oder auch einer zusammengesetzten Kette. — Diese Bezeichnungen blieben, wenn schon Galvani's Hypothese schon im Jahre 1797 von Alexander Volta in Pavia auf's bestimmteste widerlegt wurde, indem er bewies, dass zur Hervorbringung galvanischer Erscheinungen eine Combination von wenigstens drei verschiedenartigen und zu einer in sich selbst zurückkehrenden Kette verbundenen Leitern erforderlich ist. Zwei davon oder auch nur einer dürfen Metalle seyn; das thierische Glied, z. B. ein präparirter Froschschenkel, bildet den dritten. Volta zeigte dann mittelst des Strohhalmelectrometers und des von ihm erfundenen Condensators, dass die Berührungsstellen verschiedenartiger Leiter die eigentliche Quelle dieser Electricität sind, welche Galvani irrigerweise in dem thierischen Organismus suchte und in welcher er so, wie viele seiner Anhänger, das eigentliche Princip der Lebensthätigkeit entdeckt zu haben hofften. Zwei Körper, an deren Contaktstelle der electrische Zersetzungsprocess vorgeht, nannte Volta einen Electromotor, und er wies nach, dass irgend zwei verschiedenartige Leiter, in Berührung gebracht, die Rolle eines Electromotors übernehmen, so wie dass diese ihre wechselseitige Einwirkung erst mit der Trennung wieder aufhört. Er bemerkte, dass die Körper hinsichtlich ihrer Erregungsfähigkeit sich gleichwohl auf zwei wesentlich verschiedene Weisen verhalten, und theilte demnach die Leiter der Electricität in zwei Klassen. Als Leiter der ersten Klasse bezeichnete er die Metalle, Kohle, Graphit, Braunstein, kurz die in der Spannungsreihe enthaltenen Körper. Zur zweiten Klasse gehören alle übrigen, namentlich die flüssigen Leiter. Er erklärte, warum Leiter der ersten Ordnung, zu einem Ringe, nämlich zu einer in sich selbst zurücklaufenden Kette verbunden, ihre Wirkungen wechselseitig zernichten, und bewies, dass die Möglichkeit, einen Kreislauf, d. h. einen wechselseitigen Uebergang der erregten Electricitäten zu einander in der ge-

schlossenen Kette hervorzubringen, wesentlich an die Eigenschaft der flüssigen Leiter geknüpft ist, keine Stellung in der Spannungsreihe einzunehmen. Die richtige Einsicht in dieses Verhalten führte Volta bald auf den Gedanken, durch Zusammenstellung mehrerer Paare eine verstärkte Electricität zu gewinnen; und so entstand der zusammengesetzte electromotorische Apparat, welcher nach dem Namen seines Erfinders Volta'sche Säule oder Batterie genannt wurde. Er selbst schon hielt sich übrigens nicht ausschliesslich an die Form der Säule, sondern gebrauchte auch die Fig. 130 dargestellte Abänderung seines Apparates, den sogenannten Becherapparat.

Trockne Säulen wurden einige Jahre später, wie es scheint, zuerst von Ritter erbaut. Delüc und noch später Zamboni haben von Neuem die Aufmerksamkeit darauf gelenkt, indem sie dieselben zur Hin- und Herbewegung eines Pendels zwischen beiden Polen benutzten. (Gehl. phys. Wört. B. 8. S. 121.) Die trockne Säule wird daher sehr häufig nach dem einen oder andern, insbesondere nach dem letzteren dieser beiden Physiker benannt.

Dem bewegenden Princip in der electrischen Kette gab Volta den Namen electromotorische Kraft, und dachte sich, dass durch diese eigenthümliche Thätigkeit, welche im Augenblicke der Berührung zweier Körper erwacht, nicht nur das natürliche electrische Fluidum an den Contaktstellen zersetzt, sondern auch beide Bestandtheile desselben nach entgegengesetzten Richtungen fortgetrieben würden. Er schrieb also der electromotorischen Kraft die Fähigkeit zu, diejenige Eigenschaft der entgegengesetzten Electricitäten, welche man überall sonst gerade als die bezeichnendste für ihre Natur erkannt hat, nämlich ihre gegenseitige Anziehung und Bindung, (vorübergehend wenigstens) in eine wechselseitige Abstossung zu verwandeln.

Diesen Widerspruch in der Volta'schen Theorie hat Fechner gelöst, indem er den Beweis führte, dass die an den Contaktstellen ausgeschiedenen Electricitäten ganz so, wie es die bekannten Gesetze des electrischen Gleichgewichtes erheischen, sich binden, und dass eben nur aus diesem Grunde ein kleiner Ueberschuss frei beweglicher Electricität stets vorhanden seyn muss (340). Die electromotorische Kraft verlor hierdurch den Schein des Räthselhaften und Wunderbaren und durfte fortan betrachtet werden als eine Aeusserung der Wirksamkeit der Molekularkräfte und ihres Bestrebens nach Ausgleichung. Von diesem Gesichtspuncte aufgefasst, ist die electrische Differenz nichts anders als ein sinnlich wahrnehmbarer Ausdruck des Grades der natürlichen Verschiedenheit zweier Stoffe, gleichwie sich eben diese Verschiedenheit in der Stärke der wechselseitigen chemischen Anziehung zu erkennen gibt.

Diese von Volta begründete und nach ihm hauptsächlich von Berzelius, Davy, Pfaff in Kiel und zuletzt von Fechner weiter ausgebildete Theorie der galvanischen Electricität wird die Contakttheorie genannt. Sie umfasst streng genommen nur den statischen oder Spannungs-Zustand der electrischen Kette; denn wenn sie auch die Grundsätze feststellt, nach welchen die an den Contaktstellen ausgeschiedenen Electricitäten sich fortzupflanzen und in der geschlossenen Kette zu ihrem Ursprunge zurückzukehren vermögen, so gibt sie doch weder eine befriedigende Auskunft über die Bedingungen der Fortdauer dieser Bewegungen, noch lässt sie irgend Wirkungen derselben voraussehen. Mit einem Worte: diese Theorie unterrichtet nur von der Gegenwart einer bewegenden Kraft und bestimmt den Sitz derselben, verfolgt sie aber nicht in ihren Bewegungseffecten.

Dieser Vorwurf ist der Contakttheorie schon frühzeitig gemacht worden, als man in der electrischen Kette ein mächtiges chemisches Agens erkannte, aber zugleich bemerkte, dass ihre Wirksamkeit abnimmt und dass diese Abnahme von einer Aenderung der chemischen Beschaffenheit ihrer Glieder unzertrennlich ist. Man begann sofort den einfachen Ausdruck der Volta'schen Ansicht zu bezweifeln. Da überdiess die Wiederholungen der Volta'schen Grundversuche nicht überall gleich günstigen Erfolg hatten, so fanden es manche Physiker bequem, die allgemeine Richtigkeit derselben oder doch die Regelmässigkeit ihrer

Wiederkehr zu verdächtigen. Erscheinungen, deren Abhängigkeit von einem unveränderlichen Naturgesetze Volta mit ungewöhnlichem Scharfsinne und mit mathematischer Consequenz nachgewiesen hatte, glaubte man sich berechtigt, zufälligen äusseren Ursachen, z. B. dem Einflusse feuchter Luft, der Oxydation des Zinks, im Allgemeinen einem chemischen Verbindungsprocesse zuschreiben zu dürfen. Und um diese Ansichten geltend zu machen, scheute man sich oft nicht, die aller gezwungensten Erklärungen, den einfachen Lehrsätzen der Contakttheorie gegenüberzustellen (Handwörterb. der Ch. v. L. u. P., B. 2. S. 135). So entstand die sogenannte Oxydations-Theorie. Sie hebt als Haupt-Grundsatz hervor, dass dem electrischen Vertheilungs-Zustande der Kette ein chemischer Verbindungprocess, z. B. die Auflösung des einen Metalls, stets vorausgehen müsse, während im Sinne der Contakt-Theorie gerade das Umgekehrte stattfindet. Fabroni ist der Gründer dieser chemisch-electrischen Hypothese, welche nachher hauptsächlich von Ritter, Wollaston und De la Rive näher erörtert und vertheidigt worden ist.

Das Widersprechende in beiden Ansichten gab im Laufe des ersten Drittels dieses Jahrhunderts die Veranlassung zu sehr lebhaften und fast endlosen Streitigkeiten unter den Physikern. Gegenwärtig hat die Oxydations-Theorie, wenn sie auch vielleicht noch nicht ganz aufgegeben seyn sollte, doch den grössten Theil ihrer Anhänger verloren.

Wesentlich verschieden von der Oxydations-Theorie sind die chemisch-electrischen Theorien Davy's und in der neuesten Zeit Faraday's, welche die Fortdauer der electrischen Thätigkeit der galvanischen Kette von der Zersetzung des flüssigen Leiters abhängig machen, dabei jedoch anerkennen, dass diesem chemischen Processe ein Streben, denselben hervorzubringen, so wie ein Zustand electrischer Vertheilung vorangehen müsse. Wir werden auf diese Theorie, welche, in ihren Hauptpuncten richtig aufgefasst und gewürdigt, nur als eine Erweiterung der Contakt-Theorie gelten kann, in der Folge zurückkommen.

361. Electro-chemische Theorie. Nachdem man gefunden hatte, dass die electrische Differenz zweier verschiedenartiger Stoffe nur von ihrer chemischen Natur und in keiner Weise von ihrem Umfange oder der Anzahl Berührungspuncte abhängt, und dass sie unveränderlich fortdauert, so lange keiner der einander berührenden Stoffe eine chemische Veränderung erfährt, so lag die Folgerung nahe, dass selbst die kleinsten Theile der Körper, dass ihre Atome, neben einander gelagert, in entgegengesetzte electrische Zustände treten müssen, und dass die electrische Differenz der beiden Endpuncte oder Pole eines zusammengesetzten Atoms (einer chemischen Verbindung) mit der chemischen Verschiedenheit der Bestandtheile in einer festen Beziehung stehe; in der Art, dass die Kenntniss der Grösse des electrischen Gegensatzes zweier Stoffe, welche, wie bekannt (340), quantativ bestimmbar ist, zugleich den Grad ihrer wechselseitigen Affinität, wofür man vordem kein Maass hatte, angebe. Die electrische Spannungsreihe richtig zusammengestellt, gewährt eine Uebersicht der electrischen Beziehungen der Grundstoffe zu einander. Eine Klassification derselben nach der Ordnung der Spannungsreihe bildet daher zugleich das natürlichste chemische System.

Diese Vorstellungen enthalten die Basis der electro-chemischen Theorie, welche man gegenwärtig als den Schlüssel zur

Erklärung der chemischen Verbindungs-Weisen der Körper betrachtet.

Aus dieser Theorie fliesst als unmittelbare Folge, dass die Körper sich nur zu zwei verbinden, oder, wenn Verbindungen aus mehr als zwei Bestandtheilen vorkommen (wie ja auch Electromotoren aus mehr als zwei Gliedern bestehen können), dass sie binäre Verbindungen einer höhern Ordnung sind.

Der eine Bestandtheil eines zusammengesetzten Körpers im Gleichgewichtszustande ist fortdauernd electropositiv, der andere fortdauernd electronegativ. Wenn gleichwohl unter gewöhnlichen Verhältnissen keine Spur weder des einen noch des andern Princips auf einem zusammengesetzten Leiter wahrnehmbar ist, so erklärt sich diess aus dem Umstande, weil in der Masse desselben beide Elemente nicht so geordnet sind, als eine wirksame electrische Kette es fordert.

Welcher Bestandtheil einer binären Verbindung sich im electropositiven und welcher im electronegativen Zustande befinde, erkennt man aus der Spannungsreihe. Ersteren nennt man das electropositive Element, auch das electropositive Radikal, letzteren das electronegative Element oder electronegative Radikal; z. B. im Wasser bildet der Sauerstoff das electronegative, der Wasserstoff das electropositive Element.

Die Ausdrücke electropositiver und electronegativer Körper werden aber häufig auch in einer allgemeineren Bedeutung genommen, indem man den ersteren solchen Stoffen beilegt, die in der Spannungsreihe und also auch in der Art ihrer Verwandtschaften dem Kalium (d. h. dem positiven Ende) näher stehen, wie Natrium, Barium, Zink, Eisen, Kupfer u. s. w., den zweiten dagegen solchen, welche in ihrem Verhalten mehr mit dem Sauerstoffe übereinstimmen, wie Schwefel, Chlor, Arsenik u. s. w.

Von der Electricität im Bewegungszustande.

362. Die Entladung eines mit Electricität behafteten Körpers durch Vermittlung eines Leiters beruht auf der Eigenschaft des letzteren, eine Fortpflanzung der electrischen Wirksamkeit durch seine Masse zu gestatten, oder, wenn man von der Vorstellung ausgeht, dass diese Wirksamkeit einem eigenthümlichen, gewichtslosen Stoffe (294) anhafte, auf der Fähigkeit desselben, nämlich des electrischen Fluidums, sich dem Leiter entlang bewegen zu können.

Der Electricität im Zustande der Bewegung pflegt man den Namen des electrischen Stroms zu geben. Werden z. B. die beiden Conductoren der Reibungsmaschine, oder beide Belegungen einer geladenen Flasche, oder die Pole der Säule durch einen guten Leiter verbunden, so entsteht ein electrischer Strom, wodurch sich das natürliche electrische Gleichgewicht wieder herstellt.

Die Ausgleichung beider entgegengesetzten Zustände ist eigentlich immer die Folge des Uebertritts zweier Ströme zu einander, eines positiven und eines negativen electrischen Stroms. Auch ist es jetzt völlig ausgemacht, dass beide sich gleichzeitig in Bewegung setzen, so dass man annehmen kann, sie werden sich (unter Voraussetzung gleich guter Leitung von beiden Seiten) in der Mitte des Wegs begegnen. Jedoch eben aus dem Grunde, weil die Herstellung des natürlichen Zustandes das gleichzeitige Auftreten beider Ströme stets als nothwendige Bedingung voraussetzt, genügt es in der Regel, nur den einen besonders hervorzuheben. Unter Richtung des electrischen Stroms versteht man daher vorzugsweise die Richtung, nach welcher sich die positive Electricität bewegt.

363. Die unmittelbare Ursache, die bewegende Kraft des electrischen Stroms ist die Repulsivkraft gleichartiger electrischer Theile, welche bekanntlich mit dem Quadrate der Dichtigkeit zunimmt.

Auf einem isolirten, mit Electricität behafteten Conductor äussert sich die Repulsivkraft als Druck gegen die nicht leitende Umgebung, als Spannung. Wird der Leitungswiderstand an irgend einer Stelle genügend vermindert oder ganz entfernt, so erfolgt die Entladung.

Sind zwei ungleichnamig geladene Conductoren einander gegenübergestellt, so findet zwischen den beiden electrischen Flüssigkeiten eine wechselseitige Anziehung statt; da aber die hierdurch an den gegenüberliegenden Stellen beider Leiter vermehrte electrische Anhäufung nnd Spannung sich mit der wechselseitigen Anziehung ins Gleichgewicht setzen muss, so bleibt der gegen den Leitungswiderstand ausgeübte Druck das Maass des Uebergangsbestrebens beider Flüssigkeiten zu einander.

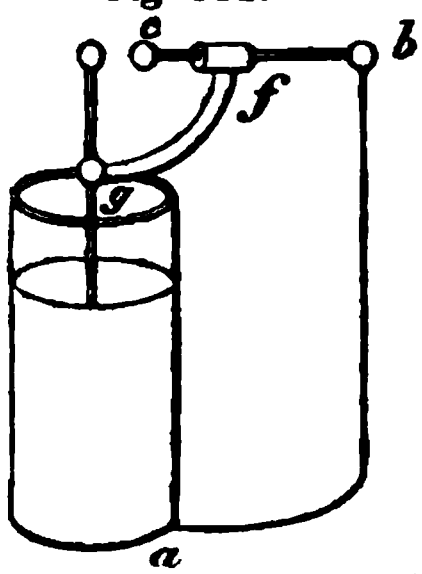
Bei einer geladenen Batterie hat man die Repulsivkraft des freien electrischen Uebergewichtes auf der einen oder andern Belegung als unmittelbare Ursache des Ausgleichungsstroms zu betrachten. Hieraus folgt, dass die Entladung, mit so grosser Schnelligkeit sie immer vor sich gehen mag, nur eine successive seyn kann. Mit der beginnenden Entladung vermindert sich die Spannung. Dass die Schlagweite, d. h. die grösste Entfernung, zu welcher der Funke bei einer gegebenen Ladung überspringt, gleichwohl, wenigstens für den grössten Theil der angesammelten Electricitätsmenge, unverändert bleibt, erklärt sich aus den bekannten Erfahrungssätzen: dass die Luft durch den electrischen Funken ausgedehnt wird, und dass die Schlagweite unter sonst gleichen Verhältnissen durch Verdünnung der Luft sich vergrössert.

Für den successiven Abfluss der Electricität einer Batterie bei der Entladung hat Riess einen experimentellen Beweis gegeben. Zuerst zeigte er, dass die Schlagweite, z. B. der Abstand zweier Kugeln, zwischen welchen der Funke überspringen musste, der Dichtigkeit der angesammelten Electricitätsmenge proportional, von der Beschaffenheit des Schliessungsbogens aber, vorausgesetzt

nur, dass es ein Leiter sey, ganz unabhängig ist. Es war z. B. ohne Einfluss darauf, ob der Bogen ununterbrochen metallisch war, oder ob man eine mit reinem Wasser angefüllte Röhre eingeschlossen hatte. Gleichwohl fiel die Electricitätsmenge, welche durch die Entladung bei unveränderter Schlagweite zernichtet wurde, im ersten Falle beträchtlich grösser aus, als in dem letzteren; d. h. es blieb im letzteren Falle eine grössere Menge Electricität in der Flasche zurück. Der Strom bedurfte folglich mehr Zeit, um durch das Wasser, als durch die ganz metallische Leitung zu gehen. (Pogg. Ann. Bd. 53, S. 1.)

Das sehr zweckmässige Verfahren, welches Riess anwendete, die in einer electrischen Batterie sich anhäufende Electricität ihrer Menge nach zu messen, gründet sich auf den Satz: dass von der äusseren Belegung genau eben so viel gleichnamiges Fluidum fortgehen muss, als ungleichnamiges gebunden wird. Er stellte die äussere Belegung seiner Batterie auf eine gut isolirende Unterlage, und verband sie mittelst einer dicken metallischen Leitung mit der innern Belegung einer Maassflasche, oder nach ihrem Erfinder sogenannten Lane'schen Flasche (d. h. mit einer Verstärkungsflasche, Fig. 132, deren beide Metall-Bekleidungen mittelst des Drahtes *a b* und des auf dem gebogenen Glasstabe *g f* ruhenden und in einer Hülse verschiebbaren Leiters *c b* zu beliebiger Nähe gebracht werden können, so dass schon bei mässiger electrischer Anhäufnng die Entladung erfolgen muss). Die äussere Belegung der Maassflasche stand mit grösseren Metallmassen in ununterbrochenem metallischem Zusammenhange, während die Scheibe der Maschine gleichförmig gedreht und die erregte Electricität der inneren Belegung der Batterie continuirlich, d. h. ohne Funken-Ueberschlag zugeführt wurde. Die Quantität der angehäuften Electricität erhielt man aus der Anzahl Entladungen der Maassflasche.

Fig. 132.



Diese Zahl, dividirt durch die Grösse der belegten Glasfläche, oder auch durch die Anzahl gleich grosser Flaschen der Batterie, gab die Dichtigkeit der Anhäufung. (Pogg. Ann. Bd. 40, S. 321).

364. Die Geschwindigkeit des Entladungsstroms der Batterie ist ganz ausserordentlich gross und in der That nur mit derjenigen des Lichtes zu vergleichen. Nach Wheatstone durcheilt die Electricität einen Kupferdraht mit der Geschwindigkeit von 288000 englischen oder 62500 deutschen Meilen in der Sekunde. — Uebrigens herrscht selbst unter den besten Leitern eine grosse Verschiedenheit hinsichtlich der Zeit, welche sie bedürfen, um bestimmte Mengen Electricität durchzulassen. Um z. B. dieselbe Menge Electricität, welche durch einen Kupferdraht ging, in derselben Zeit durch einen Platin- oder Bleidraht zu führen, muss derselbe bei gleicher Dicke viel kürzer oder bei gleicher Länge weit dicker seyn.

Nächst den Metallen gehören manche Schwefelverbindungen und Oxyde, insbesondere Schwefelkies, Schwefelblei, Kupferkies, Braunstein, Eisenoxyd, Zinnstein; ferner die Kohle, namentlich in ihrer Form als Graphit und Anthracit zu denjenigen Körpern, welche die Electricität am wenigsten aufhalten.

Das Wasser leitet im Vergleich zu den Metallen so schlecht, dass die electrische Entladung den Weg durch Meilen lange Me-

talldrähte dem durch eine gleich dicke Wasserstrecke von nur wenigen Zollen vorzieht. Durch Zusatz von Salzen oder Säuren kann man aber seine Leitfähigkeit sehr verbessern.

Schon Abbé Noliet, ein ausgezeichneter Physiker, der um die Mitte des vorigen Jahrhunderts lebte, hat beobachtet, dass der aus einer Leidner Flasche ertheilte Schlag von 180 Personen, die sich zu einer Kette verbunden hatten, ganz gleichzeitig empfunden wurde, so wie auch, dass die Electricität eine noch so grosse Reihe nicht ganz zusammenhängender Körper, so dass beim Uebergang von einem zum andern ein Funke entstehen muss (Blitztafel), in einem unmessbarer Zeittheilchen durcheilt. Um dieselbe Zeit fand man, dass breite Wasserstrecken, feuchter Boden, Drahtlängen von 6 — 12,000 Fuss den electrischen Strom auf keine durch die gewöhnlichen Hülfsmittel der Zeitmessung bestimmbare Weise aufhielten.

Wirkliche Messungen über die Geschwindigkeit der Electricität sind bis jetzt nur von Wheatstone mit günstigem Erfolge ausgeführt worden. Eine Beschreibung des sinnreichen Apparates, dessen er sich bediente, findet man in Pogg. Ann. Bd. 34, S. 464. Er bewies, dass der Entladungsstrom einer Leidner Flasche, genöthigt durch einen Kupferdraht von ½ engl. Meile Länge zu gehen, welcher an den Enden und in der Mitte durchschnitten war, von beiden Belegungen der Flasche gleichzeitig eintrat, während der Uebergangsfunke des mittelsten Durchschnittes gegen die beiden andern etwas zurückblieb. Die Verzögerung betrug $\frac{1}{288000}$ einer Sekunde. Hiernach und unter Voraussetzung, dass beide Ströme einander in der Mitte des Drahts begegneten, wurde die oben erwähnte Geschwindigkeit berechnet. — Wheatstone fand ferner, dass bei stark gespannter Electricität das Licht des überspringenden Funkens noch nicht ein Milliontel einer Sekunde verweilt. Wenn der Funke zwischen Unterbrechungen der Drähte oder zwischen Spitzen übergeht, besitzt er eine grössere Dauer.

Ungeachtet dieser geringen Dauer des electrischen Lichtes, ist das Auge nicht nur fähig, dasselbe wahrzunehmen, sondern auch Gegenstände, die davon beleuchtet werden, zu sehen und zu unterscheiden. Eine Folge dieser ausserordentlichen Empfindlichkeit des Auges ist: dass Bilder, die in einem dunklen Zimmer mit möglichster Schnelligkeit gedreht werden, unter der Beleuchtung des electrischen Funkens still zu stehen scheinen und in ihrer richtigen Form sichtbar werden; schwingende Saiten scheinen in ihrer gebogenen Stellung zu ruhen, und eine Reihe von Tropfen, die dem Auge als ein ununterbrochener Strahl erscheinen, stellen sich als eine Folge getrennter Tropfen dar, weil der Eindruck aller dieser Bilder nur eine so kurze Zeit dauert, dass die Stellung der in Bewegung sich befindenden Körper dabei nicht verändert werden kann.

Man hat oft versucht, die Leitfähigkeit der Metalle unter einander zu vergleichen. Für die ungleiche Fähigkeit gleich langer und gleich dicker Drähte von verschiedenen Metallen, den Entladungsstrom der Batterie zu leiten, gibt Riess (Pogg. Ann. Bd. 45, S. 20) folgende Zahlen, welche mit Beobachtungen anderer Physiker über das Vermögen der Metalle, galvanisch-electrische Ströme durchzulassen, zum Theil nahe übereinstimmen.

Silber	148,7	Eisen	17,7
Kupfer	100,0	Platin	15,5
Gold	88,9	Zinn	14,7
Cadmium	38,4	Nickel	13,2
Messing	27,7	Blei	10,3
Palladium	18,2	Neusilber	8,9

Das Wasser, so gross an und für sich die Geschwindigkeit ist, womit es die Electricität durchlässt, leitet doch Millionen mal schlechter als das Kupfer. Diess erweist sich aus folgendem Versuche. In ein Wasserbecken werden zwei Kupferplatten, jede von 100 Q. Zoll Fläche, in dem Abstande von 10 Zoll einander gegenüber eingetaucht und die eine mit der äusseren, die andere mit der inneren Belegung einer geladenen Leidner Flasche metallisch verbunden, so dass der Entladungsstrom zwischen beiden Platten durch das Wasser gehen muss. Man tauche

während der Entladung die Hände in das Wasser, zwischen den Kupferstreifen oder auch seitwärts. Ein grosser Theil des Schlags wird durch den Körper gehen. Man entferne sodann das Wasserbecken und gebrauche als Schliessungsbogen der Flasche einen Kupferdraht von 3 — 4 Fuss Länge und 0,1 Linie Durchmesser, welchen man während der Entladung mit beiden Händen ergreift. Man wird gar keine oder doch nur eine geringe Empfindung der durchgehenden Electricität haben. — Um diesen Versuch noch belehrender zu machen, lasse man eine ganze Reihe electrischer Entladungen, so wie sie das Blitzrad, in Verbindung mit der electrischen Säule gewährt, durch das Wasser gehen. Man tauche die Hände ein, so dass sie beide gleich weit von den Metallstreifen abstehen, also die sie verbindende Linie die Richtung des Stroms rechtwinklig durchkreuzt. Es zeigt sich keine Spur einer electrischen Einwirkung; so wie aber die Hände aus der angegebenen Lage verrückt werden, empfindet man die Schläge, um so mehr, je mehr sich die eine Hand dem einen Streifen, die andere dem andern nähert. Auch seitwärts wird die Einwirkung, wiewohl mit abnehmender Stärke, empfunden, woraus hervorgeht, dass der Strom sich rechts und links von den Metallplatten ausbreitet, folglich in der geraden Richtung nicht mit genügender Schnelligkeit fortgeführt werden kann. Diese Versuche beweisen zugleich, dass der menschliche Körper ein besserer Leiter ist als das Wasser. — Durch Zusatz von Kochsalz in das Wasser vermindert sich das Prickeln in den Fingern und verschwindet bei grösserem Salzgehalte ganz. Die Leitfähigkeit des Wassers ist folglich durch Aufnahme von Kochsalz vermehrt worden. Andere Salzlösungen, auch verdünnte Säuren, zeigen ein ähnliches Verhalten.

365. Der Entladungsstrom der electrischen Säule, und überhaupt jeder galvanischen Kette, unterscheidet sich hinsichtlich seiner Dauer sehr auffallend von dem der electrischen Batterie. Die Säule verhält sich gleichsam wie eine Batterie, deren Ladungen in unmessbar kleinen Zeittheilen nach der Entladung sich immer wieder erneuern. Der Strom muss daher fortdauern, so lange bis irgend Bewegungshindernisse sich mit seiner ganzen Triebkraft ins Gleichgewicht zu setzen vermögen. In der offenen und isolirten galvanischen Kette äussert sich die ganze bewegende Kraft derselben als Spannung freier Electricität. Gesetzt, der eine Pol, z. B. der Kupferpol, komme mit der Erde in leitende Verbindung, so muss alle freie negative Electricität entweichen; die Dichtigkeit der positiven verdoppelt sich aber, die Grösse der vorhandenen Triebkraft bleibt folglich relativ ungeändert. Der Grund, warum die angesammelte positive Electricität ungeachtet der ableitenden Verbindung mit der Erde zurückgehalten wird, ist der der Repulsivkraft ihrer Theile gleiche Widerstand, welchen sie an den Uebergangspuncten von einem Gliede der Kette zum andern erfährt. Dieser Widerstand ist nichts Anderes als die erregende oder electromotorische Kraft. Die Triebkraft des galvanischen Stroms ist folglich an Grösse genau gleich der Summe sämmtlicher in der Kette wirksamer electromotorischer Kräfte, für welche die electrische Differenz als Maass gelten kann.

In einer vollkommen geschlossenen Kette würden die erregten Electricitäten durch den Schliessungsbogen ohne Aufenthalt zu einander übertreten müssen. Die cirkulirenden Mengen müssten daher der Grösse der Erregungsfähigkeit an den Contaktstellen ent-

sprechen. Die Leitungswiderstände hindern diese freie Cirkulation und bewirken, dass die Mengen der zu einander übergehenden und sich wechselseitig aufhebenden Electricitäten weniger betragen, als in derselben Zeit erregt werden könnte. Aus diesem Grunde zeigt sich auch in der geschlossenen Kette noch ableitbare, d. h. gespannte Electricität, welche sich z. B. durch einen zweiten Schliessungsbogen führen, oder auch auf dem Condensator ansammeln lässt. Ihre grösste Anhäufung und Spannung wird immer an solchen Stellen gefunden, an welchen die grössten Widerstände zu überwinden sind.

Wird z. B. eine aus guten Leitern gebildete Säule an einer beliebigen Stelle durch einen schlecht leitenden Körper, etwa durch reines Wasser, geschlossen, so behauptet die Electricität auf den das Wasser begränzenden Metallflächen ihre grösste Dichtigkeit und diese nimmt, ganz so wie in der offenen Kette, nach der Mitte hin, von Glied zu Glied stufenweise ab. Man sieht hieraus, dass alle Kettenglieder dazu beitragen, dem Widerstande an der unvollkommenen Schlussstelle das Gleichgewicht zu halten. Die electrische Spannung an den Polen der unvollständig geschlossenen Kette ist jedoch immer geringer als an denselben Puncten der offenen Kette, woraus man folgern muss, dass ein Theil der Triebkraft, welche jedes einzelne Glied bieten konnte, verwendet werden musste, um die Widerstände in seinen eigenem Umfange auszugleichen.

Die besten Leiter unter den Flüssigkeiten stehen doch den metallischen Leitern bei weitem nach. Es ist daher vorauszusehen, was die Erfahrung bestätigt, dass der verfügbare Theil der Kraft eines jeden aus Metallen und Flüssigkeiten zusammengesetzten Electromotors um so grösser seyn wird, je grösser der Querschnitt des flüssigen Leiters ist und je mehr Uebergangspuncte von Metall zu Flüssigkeit vorhanden sind.

366. Der electrische Strom besitzt die merkwürdige Eigenschaft, den Körpern, welche er durchläuft, eine magnetische Kraft zu ertheilen, die erst mit dem Aufhören des Stroms wieder verschwindet.

Man findet, dass leichtbewegliche Magnetnadeln, an deren fester Axe der Schliessungsdraht einer kräftigen galvanischen Kette vorübergeht, aus ihrer Ruhelage abgelenkt werden und erst nach Unterbrechung des Stroms in dieselbe zurückkehren. Die Richtung dieser Ablenkung ist verschieden, je nach der Lage der Schwingungsebene der Nadel gegen die Richtung des Stroms. Sie kann durch folgende bildliche Vorstellung sogleich mit Leichtigkeit vorausgesehen werden: „Der Beobachter denke sich in die Richtung des Stroms versetzt, den Kopf vorwärts, die Füsse zurück, das Auge gegen die Magnetnadel gerichtet, so wird der positive Pol der Nadel aus seiner Ruhelage stets links abweichen.“

Man hänge z. B. zwei gleiche Magnetnadeln, etwa in 1 Zoll

Abstand, über einander, und lasse zwischen beiden, gleichlaufend mit ihrer magnetischen Axe, einen dicken Kupferdraht durchgehen, der als Schliessungsbogen eines galvanischen Paares von ziemlich grossem Flächeninhalte der Platten dient. Bewegt sich nun der Strom in der Richtung von Süden nach Norden, so weicht der positive Pol der unteren Nadel westlich, der der oberen östlich ab; das Umgekehrte findet statt, wenn der Strom von Norden nach Süden geht. Eine horizontal stehende Nadel, die in der Ebne des magnetischen Meridians schwingt, dem Drahte von der Westseite genähert, hebt ihren positiven Pol, von der Ostseite genähert, senkt sie denselben.

In einem einzigen Falle, wenn nämlich die Richtung des Stroms diejenige der magnetischen Axe der Nadel rechtwinklig durchkreuzt, findet gar keine Ablenkung statt, wohl aber, je nachdem der von Westen nach Osten fliessende Strom über oder unter der Nadel hergeht, eine Beschleunigung oder Verzögerung ihrer Oscillations-Geschwindigkeit.

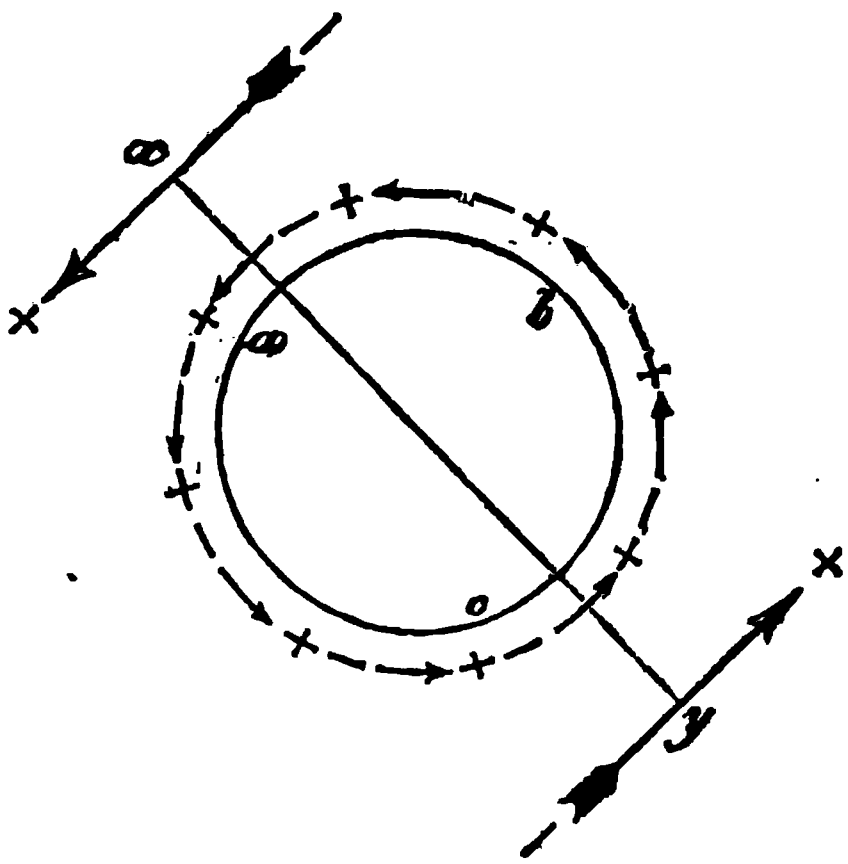
Astatische Nadeln, neben deren Axe der Strom hinläuft, stellen sich immer rechtwinklig auf die Richtung desselben.

Aus diesem Verhalten der magnetischen Kraft des Schliessungsbogens lässt sich die Folgerung ziehen, dass die Richtung ihrer Wirksamkeit den electrischen Strom in jedem beliebigen, winkelrecht durch seine Richtung geführten Querschnitte umkreist.

Man hat beobachtet, dass die Einwirkung auf einen Pol der Nadel, rings um den Strom herum, in gleichen Abständen von der Mitte desselben überall gleich gross ist, und dass sie im einfachen umgekehrten Verhältnisse, der Entfernung des Pols von der Mitte des Stroms, sich vermindert.

Man denke sich den Querschnitt $abca$ (Fig. 133) eines Leiters von einer

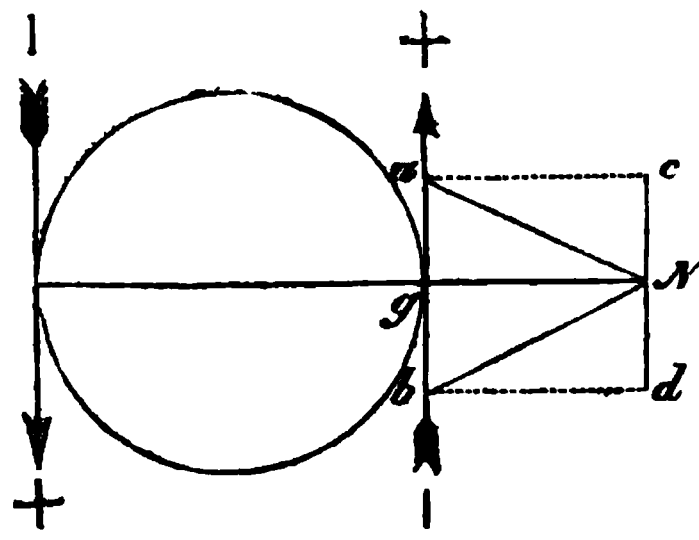
Fig. 133.



Anzahl sehr kleiner, immer mit ihren ungleichnamigen Polen an einander gereiheter Magnete umgürtet, deren Abstände jedoch so gross sind, dass die Wirkungskreise der aufeinanderfolgenden ungleichnamigen Pole nicht ganz in einander fallen können, so müssen sich diese kleinen Magnete winkelrecht auf jede beliebige, durch die Mitte des Leiters gezogene gerade Linie $x\,y$ zu zwei Magneten von bedeutend vergrösserter Atmosphärenwirkung (291) und entgegengesetzter Lage zusammensetzen.

Befindet sich nun in der Ebne des Querschnittes der Pol N (Fig. 134) eines andern Magnetes, z. B. der positive Pol einer Nadel, so wird derselbe in der Richtung von a nach N abgestossen, in der Richtung von b nach N eben so stark angezogen. Beide Wirkungen, da sie einen Winkel bilden, können sich jedoch nicht ganz aufheben, sondern ergänzen sich zu einer Kraft $c\,d$, wodurch der Pol gleichlaufend mit der Tangente des Punctes g bewegt wird.

Fig. 134.



Diese Darstellung ist wohl geeignet, die Wirkungsweise der magnetischen Kraft des Stroms durch ein Bild zu versinnlichen, darf aber nicht als eine Erklärung gelten. Ueber den eigentlichen Zusammenhang der bewegten Electricität mit der magnetischen Kraft, welche sie äussert, oder in den Leitern erzeugt, weiss man bis jetzt nichts.

Bemerkenswerth ist es übrigens, dass der Schliessungsdraht auch unmittelbar an seiner Oberfläche freie magnetische Kräfte zeigt, ganz so, wie es seyn müsste, wenn jeder Querschnitt desselben von kleinen Magneten umgeben wäre; denn der Draht zwischen Eisenfeilspänen durchgeführt, umwickelt sich gleichsam mit denselben, und eine Nähnadel mehrmals quer über den Draht gestrichen, erhält Spuren von bleibendem Magnetismus.

Die magnetische Kraft des electrischen Stroms oder der Electro-Magnetismus ist im Jahr 1820 von Oerstedt in Kopenhagen entdeckt worden. Gewisse Einwirkungen der Electricität auf die Magnetnadel waren zwar in einzelnen Fällen schon früher bemerkt worden; aber Niemand hatte vorher einen so bestimmten Zusammenhang zwischen den electrischen und magnetischen Kräften erkannt. Die Oerstedt'sche Entdeckung erregte daher im höchsten Grade die Aufmerksamkeit und das Interesse der Physiker und wurde der Ausgangspunct einer grossen Reihe der merkwürdigsten Entdeckungen im Gebiete der Electricitätslehre und des Magnetismus.

367. Ein Leiter der Electricität, durch welchen der Strom geht, wird nicht nur seiner ganzen Länge nach magnetisch, sondern äussert auch diese Kraft in jedem Querschnitte mit gleicher Stärke. Denn biegt man den Schliessungsdraht einer galvanischen Kette um, so dass der zurückgehende Arm mit dem vorwärtsgehenden ganz gleichlaufend ist, und beide nur durch einen Papierstreifen getrennt sind, so zeigt er sich auf die genäherte Magnetnadel wirkungslos, weil die magnetischen Kräfte in beiden Stücken des Drahtes ihrer Richtung nach entgegengesetzt sind und sich folglich aufheben müssen.

Dieses Verhalten ändert sich nicht, wenn der Schliessungsbogen aus verschiedenartigen Leitern zusammengesetzt ist; d. h. die magnetische Kraft des Stroms ist gänzlich unabhängig von der Natur des Stoffes, welchen er durchdringt.

Diese vorläufigen Mittheilungen über die magnetische Wirksamkeit der Electricität im Zustande der Bewegung werden genügen, um eine höchst wichtige Anwendung zu verstehen, die man davon gemacht hat, einestheils um die Anwesenheit electrischer Ströme sogleich mit Sicherheit zu erkennen, anderntheils um ihre Stärke zu messen. Alle zu diesem Zweck ersonnenen Geräthschaften führen den gemeinschaftlichen Namen: **Galvanometer.**

Electromagnetische Messwerkzeuge; Galvanometer.

368. **Der Multiplicator.** Ein electrischer Strom, der in gerader Linie an einer Magnetnadel vorbeiläuft, wird auf diese in der Regel keine sehr starke Wirkung ausüben, weil nur wenige Puncte desselben, nur wenige Stromelemente, in genügende Nähe zu den Polen der Nadel gelangen können. Die magnetische Wirksamkeit des Stroms lässt sich aber bedeutend verstärken, wenn man den Leitungsdraht um die Nadel, und zwar parallel mit der Ebne ihres Meridians in mehreren Windungen herumbiegt. Es ist einleuchtend (366), dass alle in einer Windung gleichzeitig befindlichen Stromelemente auf einen innerhalb des Ringes befindlichen Magnetpol in gleichem Sinne wirken und dass sie sich folglich zu einer verstärkten Kraft zusammensetzen müssen, wodurch der Pol senkrecht gegen die Ebne des Ringes bewegt wird. Da ferner eine jede Windung für sich betrachtet und in genau gleiche Lage zu der Nadel gebracht, eine gleiche Wirkung auf dieselbe äussern muss, so sieht man ein, dass die ablenkende Kraft eines Stroms, dessen Stärke an und für sich unverändert bleibt, gleichwohl zunimmt mit der Anzahl der Drahtwindungen, welche er durchlaufen muss. Eine derartige Vorrichtung hat daher den Namen: **electromagnetischer Multiplicator** erhalten. Die Grösse der ablenkenden Kraft ist übrigens nicht genau ein Vielfaches der Anzahl Windungen; weil sich nicht alle in gleichem Abstande von der Nadel befinden können.

Der Multiplicator ist gleichzeitig von **Poggendorff** und **Schweigger** erfunden worden.

Der (möglichst eisenfreie) Kupferdraht, welcher zu den Windungen verwendet werden soll, wird gewöhnlich mit Seide umsponnen, um die circulirende Electricität zu verhindern, seitwärts von einer zur andern der neben einander liegenden Windungen überzutreten. Nur die beiden Enden sind frei; sie tauchen entweder, jedes in ein besonderes Quecksilbernäpfchen, wo sie den Strom aufnehmen, oder werden direkt mit den Polen des electromotorischen Apparats verbunden. Den Windungen pflegt man die Gestalt eines länglichen Rechteckes zu geben, dessen Länge und Höhe eben die erforderlichen Dimensionen besitzen, um den Bewegungen der Nadel einen hinreichenden Spielraum zu lassen. Es gelingt auf diese Weise den Strom der Nadel sehr nahe zu bringen und dadurch die Empfindlichkeit bedeutend zu steigern.

Fig. 135.

Die Figur 135 zeigt einen nach sehr zweckmässigen Verhältnissen ausgeführten Multiplicator, in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Grösse.

Eine magnetisirte Stahlnadel, 20 Linien lang, schwingt in der Mitte eines viereckigen Rahmens von Messing, von 16 Linien Breite, 23 Linien Länge und 3 Linien Höhe im Lichten; um dessen stark gefirnisste Kanten der Draht in möglichst gleichlaufenden Windungen neben oder nach Erforderniss auch in mehreren Lagen über einander gewickelt ist. In der Mitte des Rahmens ist zwischen den Windungen eine Lücke gelassen, gerade von genügender Weite, um die Nadel einlassen zu können. Die letztere ist, so wie Figur 136 andeutet, mit einem gleichlaufenden Zeiger verbunden, der über den Windungen schwebt, und hängt an einem einzigen 3, 5 Zoll langen Coconfaden. Auf dem erhöhten Rande des Rahmens ruht eine mit weissem, lackirtem Papier überzogene Kupferscheibe, worauf sich die Kreistheilung befindet. Diese Scheibe wird auf dem Rahmen zwischen Nadel und Zeiger eingeschoben und ist zu dem Ende an der dem Nullpuncte gegenüber liegenden Seite, mit einem vom Rande bis zur Mitte reichenden Einschnitte versehen.

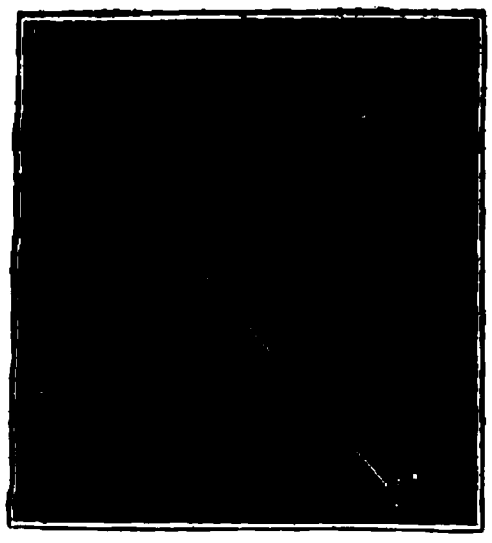
Fig. 136.

Um das Instrument vor Staub zu schützen, wird eine Glasglocke darüber gedeckt, aus welcher nur der Schraubenkopf *s* hervorragt, mittelst dessen der Aufhängepunct des Fadens etwas gehoben oder gesenkt, oder auch, während des Transportes die Nadel ganz in Ruhe gesetzt werden kann.

Während des Gebrauchs ruht der Multiplicator auf einem festen, von irgend Erschütterungen des Fussbodens unabhängigen und daher am besten in eine Mauer eingelassenen Träger. Die Windungen werden der magnetischen Axe der Nadel parallel gerichtet; eine Stellung, die allemal erreicht ist, wenn der Zeiger auf den Nullpunct der Theilung einspielt. Um dem Zeiger diese Stellung leicht und mit Schärfe geben zu können, ohne das ganze einmal horizontal gerichtete Instrument öfters wieder verrücken zu müssen, hat man die Unterlage des Rahmens, worauf zugleich der Träger der Nadel und die Glasglocke sitzt, beweglich gemacht, in der Art, dass sie vermittelst eines Getriebes um eine feste, verticalstehende Axe gedreht werden kann. Die Enden des Multiplicatordrahtes sind an den beiden Schlüsseln *f* und *f'* angelöthet; in letztere werden entsprechende, mit den Polen des Electromotors verbundene Stifte eingeschoben, so oft das Instrument in Thätigkeit gesetzt werden soll.

Nobili, ein italienischer Physiker, hat die Empfindlichkeit des Multiplicators, als eines Anzeigers electrischer Ströme dadurch bedeutend erhöht, dass er zwei gleich grosse und möglichst gleich starke Magnetnadeln mit entgegengesetzt gerichteten Polen verband. Die eine befindet sich zwischen den Windungen, die andere darüber, so dass der Strom auf beide in gleichem Sinne (366) wirken muss. Die obere dient zugleich als Zeiger. Es ist klar, dass eine

Fig. 137.



solche Doppelnadel unter dem Einfluss des Erdmagnetismus allein, eine um so geringere Richtkraft besitzt, je geringer die Differenz der magnetischen Kräfte beider Nadeln und je genauer gleichlaufend ihre Axen gestellt sind. Wenn sie sich, so wie es meistens geschieht, in einem spitzen Winkel durchkreuzen, so nehmen sie, sobald sie ungefähr gleich stark magnetisirt sind, eine Stellung nahezu winkelrecht gegen den magnetischen Meridian (siehe Fig. 137).

Um der Nadel den äussersten Grad der Empfindlichkeit zu geben, wird ein kräftiger Magnetstab in wagerechter Lage und in der Ebne des Meridians, aber mit verkehrten Polen, in passender Entfernung aufgestellt. Die erdmagnetische Richtkraft kann auf diese Weise zu jedem noch so kleinen Werthe zurückgeführt werden.

Man ist durch diese Hülfsmittel in den Stand gesetzt, die geringsten Spuren electrischer Ströme, aus welcher Quelle dieselben auch entspringen mögen, zu entdecken.

Es ist einzusehen, dass die Grösse der Ablenkung einer Multiplicatornadel, ein gewisses Urtheil gestattet über die Stärke der in den Windungen thätigen magnetischen Kraft. Zu wirklichen Messungen dieser Stärke ist jedoch der Multiplicator unmittelbar *nicht* geeignet, weil die Grösse des Ablenkungsbogens in keiner einfachen und durch theoretische Betrachtungen leicht im Voraus zu bestimmenden Beziehung zur Grösse der ablenkenden Kraft steht. Diese Beziehung kann aber, wie in der Folge gezeigt werden soll, empirisch bestimmt und dadurch der Multiplicator in ein wirkliches Messwerkzeug verwandelt werden.

Will man die Empfindlichkeit dieses Instrumentes durch einen Versuch prüfen, so verbinde man das eine Drahtende mit einem Kupferstreifen, lege auf diesen ein Stück mit Wasser befeuchtetes Löschpapier, und berühre die obere Fläche des letzteren mit dem abgestumpften Ende eines Stiftes von Zink, von 1—2 Linien Dicke, welcher am andern Ende des Multiplicatordrahtes befestigt ist. Die Nadel wird sich sogleich in Bewegung setzen und nach der Richtung derselben einen Strom anzeigen, der von dem Zink durch das Papier zum Kupfer geht. Wenn die erdmagnetische Richtkraft der Doppelnadel möglichst gering, der Multiplicatordraht aber recht lang ist, so dass er viele, etwa 500 oder mehr Windungen bildet, so muss der Ablenkungsbogen 40—50 Grade und selbst mehr betragen. Ein Urtheil über den Grad der Vollkommenheit des astatischen Systems der Doppelnadel erhält man auch aus der Langsamkeit ihrer Schwingungen.

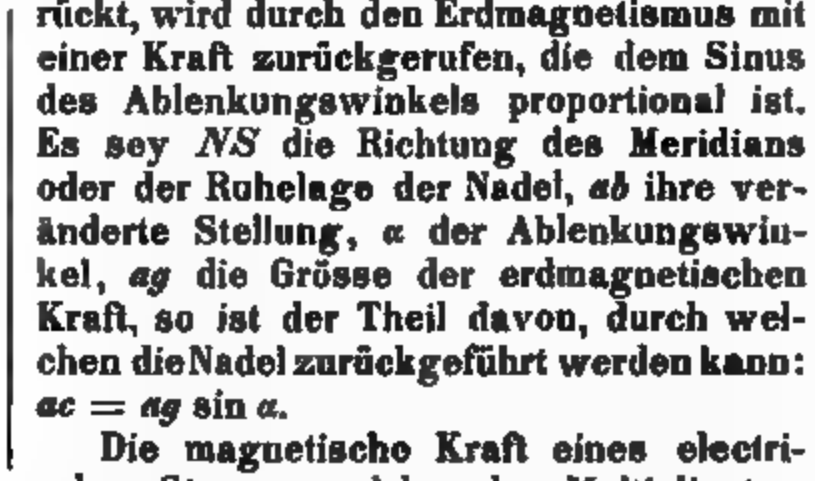
Ist man im Besitze eines Multiplicators von dem bezeichneten Grade der Empfindlichkeit, so lässt sich damit sehr leicht zeigen, dass ein Strom gemeiner oder Maschinen-Electricität, gleich der galvanischen, die Eigenschaft besitzt, dem Leitungsdrahte magnetische Kräfte zu verleihen. Man verbinde das eine Drahtende des Multiplicators mit dem positiven, das andere mit dem negativen Conductor einer Reibungs-Electrisirmaschine und setze sodann ihren Glaskörper in eine rasche und gleichförmig anhaltende Bewegung. Es wird eine Ablenkung erfolgen und zwar im Sinne eines Stroms, der vom positiven Conductor durch den Draht zum negativen geht. Der Winkel, welchen die Nadel beschreibt,

wird jedoch, selbst wenn man eine kräftige Maschine, im besten Gange zur Verfügung hatte, der in dem vorhergehenden Versuche erhaltenen Ablenkung bei weitem nicht gleichkommen Man erkennt hieraus, dass die Maschinenelectricität ungeachtet der hohen Spannung, welche sie im Ruhezustand annehmen kann, unfähig ist, während ihres Uebergangs von einem Conductor zum andern starke magnetische Wirkungen auszuüben. Wir werden in der Folge sehen, dass diess nicht von einer specifischen Verschiedenheit, sondern nur daher rührt, weil die durch den Reibungsprocess in jedem Augenblicke entwickelte Menge freier Electricität, vergleichungsweise zu der in derselben Zeit in einer galvanischen Kette erregten, sehr gering ist.

Auch die Luftelectricität im Bewegungszustande wirkt auf die Magnetnadel. Wird der in No. 336 beschriebene, für die Aufsaugung der Luftelectricität bestimmte Leiter mit dem einen Ende des Multiplicatordrahtes, die Ableitungsstange mit dem andern Ende in Verbindung gesetzt, so weicht die Nadel aus ihrer Ruhelage ab, so oft eine Gewitterwolke vorüberzieht, mehr oder weniger je nach der Stärke der electrischen Anhäufung und bald im positiven, bald im negativen Sinne. (Pogg. Ann. 8. 336; 29. 283.)

369. Die Sinusbussole. Jede Magnetnadel, durch irgend welche Ursache aus ihrem Meridian gerückt, wird durch den Erdmagnetismus mit einer Kraft zurückgerufen, die dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional ist. Es sey *NS* die Richtung des Meridians oder der Ruhelage der Nadel, *ab* ihre veränderte Stellung, α der Ablenkungswinkel, *ag* die Grösse der erdmagnetischen Kraft, so ist der Theil davon, durch welchen die Nadel zurückgeführt werden kann: $ac = ag \sin \alpha$.

Fig. 138.



Die magnetische Kraft eines electrischen Stroms, welcher den Multiplicatordraht durchläuft, wirkt auf die Pole einer Magnetnadel, die im Innern seiner Windungen aufgehängt ist, in einer Richtung winkelrecht gegen die Ebne der Windungen. Die abstossende Kraft erreicht folglich ihren grössten Werth, wenn die magnetische Axe der Nadel selbst in dieser Ebne liegt, oder doch gleichlaufend damit gestellt ist. Die Stärke der Abstossung vermindert sich aber, je grösser der Winkel geworden ist, welchen die Nadel mit den Windungen bildet. Liessen sich die letztern bei jeder Lage, in welche die Nadel übergeht, mit deren magnetischer Axe parallel stellen, so wie es bei dem gewöhnlichen Multiplicator nur während der Ruhelage der Fall ist, so würde die ablenkende Kraft für eine und dieselbe Stromstärke nicht nur fortdauernd ihren grössten, sondern auch einen unveränderlichen Werth behaupten. Diese Bedingung kann erreicht werden, wenn der Rahmen des Multiplicatordrahts um den Mittelpunct des Theilkreises drehbar und dadurch die Möglichkeit gegeben ist, den gestörten Parallelismus immer wieder herzustellen. Die Nadel kann in diesem Falle nicht eher zur Ruhe kommen, als bis die richtende Kraft des Erdmagnetismus sich mit

der ganzen abstossenden Kraft des Stroms ins Gleichgewicht gesetzt hat. Bei einem so eingerichteten Multiplicator gibt also der Sinus des Ablenkungswinkels ein relatives Maass für die magnetische Kraft des Stroms. Daher der Name Sinusbussole, welchen Pouillet, der Erfinder dieses Instrumentes, demselben gegeben hat.

Um den vorher beschriebenen Multiplicator in eine Sinusbussole zu verwandeln, bedarf es nur eines unmittelbar über der Theilung befindlichen unverrückbaren Punctes, der während der Drehung des Rahmens und Theilkreises seine ursprüngliche Stellung behauptet und dadurch jeden Augenblick erkennen lässt, um wie viele Grade Windungen und Nadel aus dem magnetischen Meridian verrückt worden sind. Fehlt ein solcher fester Punct an dem Instrumente, so kann die Grösse des Ablenkungswinkels dadurch gemessen werden, dass man, nachdem Windungen und Nadel zugleich auf den Nullpunct der Scale eingestellt sind, den Strom unterbricht und die Nadel in die frühere Ruhelage, d. h. in diejenige Stellung, von welcher aus die Drehung begonnen hatte, zurückkehren lässt.

Ueberhaupt kann jeder Multiplicator als Sinusbussole gebraucht werden, sobald man denselben auf eine horizontale um vertikale Axe drehbare Scheibe, z. B. auf den horizontalen Theilkreis eines Theodoliths stellt. Dabei ist es gar nicht erforderlich, dass die Drehaxe der Nadel mit der der Scheibe zusammenfalle. Eben so wenig bedarf es eines genauen Parallelismus der magnetischen Axe der Nadel mit der Ebne der Windungen oder dieser Windungen untereinander, insofern nur ihre wechselseitigen Beziehungen, so oft der Zeiger auf den Nullpunct einspielt, jedesmal genau dieselben sind.

Da die Bestimmung des Ablenkungsbogens einer Multiplicator-Nadel nach dem Principe der Sinusbussole immer einige Zeit erfordert, so können damit begreiflicher Weise nur Ströme von unveränderlicher Stärke gemessen werden. Die Anzeigen der Sinusbussole lassen sich aber sehr leicht mit den bei unveränderter Stellung der Draht-Windungen erhaltenen Ausschlägen der Nadel vergleichen, und dadurch wird es möglich, auch Ströme von kürzerer Dauer zu messen. Die Nadel stellte sich z. B. bei unveränderter Lage der Windungen, einmal bei 10°, dann bei 21°, in einem dritten Versuche bei 31°. Als Sinusbussole gebraucht und unter dem Einflusse derselben electrischen Ströme erhielt man aber die Ablenkungen 10°3′, 23°55′ und 43°37′; die magnetischen Kräfte, welche die Ausschläge von 10°, 21° und 31° bewirkten, verhalten sich also wie sin. 10° 3′: sin. 23° 55′: sin. 43° 37′.

Auf diese Weise kann man für jede unmittelbare Ablenkung der Nadel die entsprechende Stromkraft bestimmen, und eine hiernach entworfne Tabelle (in welcher die Werthe für jeden einzelnen Grad mit Hülfe einer nach den Ergebnissen der Beobachtung gebildeten Curve oder durch Interpolation eingetragen sind) dient dann in der Folge, um die Stärke electrischer Ströme aus den directen Anzeigen des Multiplicators abzuleiten.

Es ergibt sich hieraus ein eben so einfaches als sicheres Mittel, jeden Multiplicator zu graduiren, d. h seine Anzeigen untereinander vergleichbar zu machen. Bei einem Multiplicator mit astatischer oder Doppelnadel gilt jedoch diese Vergleichbarkeit nur mit der Einschränkung, dass für alle Versuche,

deren Ergebnisse aufeinander bezogen werden sollen, die Richtkraft des astatischen Systems unverändert geblieben ist, oder mit andern Worten, dass ein electrischer Strom von bekannter Stärke, bei Beendigung der Versuche denselben Ausschlag wie anfangs bewirkte. Zuweilen wird man finden, dass dieses nicht der Fall ist, d. h. dass die magnetische Intensität der Doppelnadel im Laufe der Versuche sich geändert hat, besonders wenn sie dem Einflusse eines starken Stroms ausgesetzt war.

Mit einer gegebenen Sinusbussole lassen sich direct nur solche Ströme messen, deren magnetische Wirksamkeit geringer ist, als die magnetische Richtkraft der Nadel, deren Werth (siehe Fig. 138) durch $ag \sin 90^\circ$ ausgedrückt ist. Sinusbussolen bedürfen daher je nach der Beschaffenheit der Ströme, zu deren Untersuchung sie dienen sollen, einer verschiedenen Einrichtung. Für sehr starke Ströme genügt schon eine einzige um die Nadel laufende Windung eines dicken Drahtes oder Kupferstreifens.

370. Die Tangentenbussole. Wenn der electrische Strom durch den Querschnitt eines kreisförmig gebognen Drahts (Fig. 139) geht und wenn der Magnetpol, worauf er einwirkt, sich in der Mitte des Kreises befindet, so vereinigt sich die magnetische Wirksamkeit sämmtlicher Elemente dieses Rings zu einer bewegenden Kraft, welche senkrecht gegen die Ebne desselben gerichtet und deren Grösse der Summe aller gleichzeitig den Ring begränzender Stromtheile proportional ist.

Fig. 139.

Gesetzt im Kreismittelpuncte sei eine Magnetnadel aufgehängt, von so geringer Ausdehnung, dass die Resultante der magnetischen Kräfte des Rings bei den verschiedenen Stellungen der um den Mittelpunct schwingenden Nadel keine merkliche Aenderung erleidet. Man gebe der Ebne des Rings eine solche Stellung, dass sie mit der des magnetischen Meridians zusammenfällt, dass also die magnetische Axe der kleinen Nadel während ihrer gewöhnlichen Ruhelage ganz in diese Ebne zu liegen kommt. Die Linie *NS* (Fig. 140) bezeichne diese Lage. Gleichlaufend damit wirkt die erdmagnetische Kraft, senkrecht dagegen die Kraft eines durch den Ring fliessenden Stroms. Angenommen die Nadel, durch diesen Strom abgelenkt, bilde nunmehr mit ihrem Meridian den Winkel φ. Ist sie in der so veränderten Stellung zur Ruhe gekommen, so muss die ablenkende Kraft des Stroms mit der zurückführenden des Erdmagnetismus im Gleichgewicht stehen. Erstere werde durch die Linie *sf*, und der Theil davon wel-

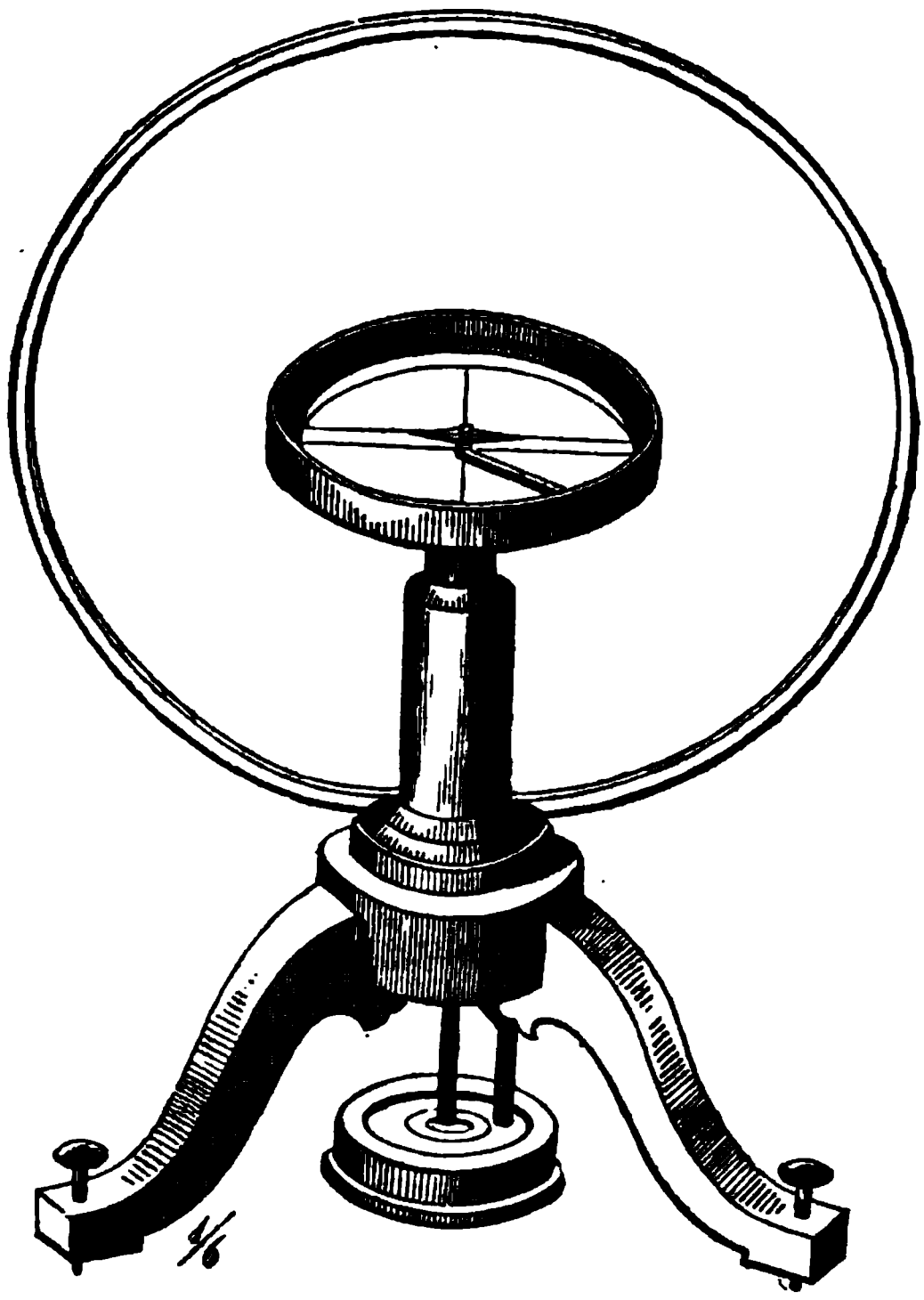
Fig. 140.

cher die Nadel abzulenken strebt, durch *sb* ausgedrückt, letztere (die erdmagnetische Kraft) durch *sg* und ihre die Nadel richtende Seitenkraft durch $sa = sb$. Es ist $sa = sg \sin\varphi$ und $sb = fs \cos\varphi$. Folglich $fs = sg \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = sg \operatorname{tng}\varphi$.

Für einen andern Ablenkungswinkel φ' würde man eben so finden $f's = sg \operatorname{tng}\varphi'$ u. s. f. D. h. die Tangente des Ablenkungswinkels gibt ein relatives Maass für die Stärke des Stroms.

Die Tangentenbussole, zugleich mit der Sinusbussole von Pouillet empfohlen ist eine Anwendung dieses Lehrsatzes. Die Fig. 141 zeigt ein solches Instrument in 1/6 der natürlichen Grösse.

Fig. 141.



Man leitet den galvanischen Strom durch einen grossen und starken kupfernen Ring in der Ebne des magnetischen Meridians. Die Zuleitung geschieht durch einen langen dicken kupfernen Stiel, die Ableitung durch eine kupferne Röhre (siehe die Durchschnittszeichnung Fig. 142), welche den Stiel umgibt ohne ihn zu berühren. Beide, das zuleitende und ableitende Ende tauchen in Quecksilbernäpfe, möglichst weit unterhalb des Reifes so aufgestellt, dass sich derselbe um eine verticale durch seinen Mittelpunct gehende Axe frei drehen lässt. Die

Fig. 142.

Spitze, auf welcher die Magnetnadel ruht, ist entweder der Mittelpunct selbst, oder befindet sich doch nahe dabei in der Axe des Rings. Die Länge dieser Nadel darf $\frac{1}{6}$ vom Kreisdurchmesser nicht übersteigen. Damit sich die Ablenkungsbögen dennoch mit genügender Schärfe beobachten lassen, pflegt man auf der Nadel einen Glasfaden von drei- bis vierfacher Länge zu befestigen, dessen Enden unmittelbar vor der Kreistheilung vorübergehen. Ein Spiegelstreifen, der unter dem Theilkreise auf der wagerechten Bodenfläche der Kapsel aufliegt, sichert während des Ablesens die richtige Stellung des Auges.

Die beschriebene Tangentenbussole ist vorzugsweise für das Messen starker electrischer Ströme berechnet. Der Querschnitt des kreisförmigen Leiters muss deshalb so gewählt werden, dass er der bewegten Electricität keinen merklichen Widerstand entgegensetzen kann. Bei dem Instrumente Fig. 141 beträgt die Breite des Reifs 5^{mm}, die Dicke 7,5^{mm} auf einen mittleren Durchmesser von 401,3 Millimeter. Die beiden Drähte, welche die Verbindung mit dem Electromotor vermitteln, erhalten am besten einen eben so grossen Querschnitt; sie sind mit Seidenband umwickelt und werden auf 1 Metre Länge dicht neben einander fortgeführt, damit ihre Wirkungen auf die Nadel sich wechselseitig aufheben. Die übrigen Theile der electrischen Kette dürfen in keinem geringeren als in 1 Metre Abstande von dem Ringe aufgestellt werden.

Die Tangentenbussole hat vor der Sinusbussole den Vorzug, dass sie eine Bestimmung der Stromstärke unmittelbar aus dem Ablenkungsbogen der Nadel, also für jeden Augenblick der Beobachtung gestattet. Da jedoch die Bedingung einer Nadel, deren Pole von allen Puncten des Reifes gleichweit abstehen, nur annähernd erreichbar ist, so erscheint die Berechnung der Stromstärken nach dem Sinus des Drehungsbogens wenigstens im Principe genauer. Das vorher beschriebene Instrument lässt sich übrigens

sehr leicht auch als Sinusbussole benutzen, da der Ring, wie erwähnt wurde, um eine vertikale Axe drehbar ist. Hatte man sich nun bei der Anfertigung desselben an die oben vorgeschriebenen Dimensionen gehalten, und benutzt man es dann zur Messung von Strömen von unveränderlicher Stärke, einmal nach dem Principe der Tangentenbussole, dann nach dem der Sinusbussole, so ergibt sich, dass die nach beiden Methoden erhaltenen Resultate bis zu 20 Grad Ablenkung und selbst darüber fast genau proportional sind. Für stärkere Ströme zeigt sich eine allmählige Abnahme der nach den Tangenten berechneten Werthe; der hieraus entspringende Fehler übersteigt jedoch niemals einen halben Grad. Man kennt bis jetzt keine electrischen Ströme von sehr bedeutender Stärke, deren Veränderlichkeit während einer gewissen Dauer zwischen engeren Gränzen eingeschlossen ist.

Einige Aufmerksamkeit erfordert die richtige Einstellung des Zeigers auf den Nullpunct der Theilung. Fehlerhafte Resultate, die aus einer unrichtigen Einstellung entspringen könnten, werden indessen leicht umgangen, wenn man den zu messenden Strom abwechselnd links und rechts in den Ring eintreten lässt und aus den beobachteten Ablenkungen das Mittel nimmt.

371. Das Magnetometer. Wir müssen jetzt noch ein anderes galvanometrisches Werkzeug kennen lernen, welches, was die Schärfe der Messungen die es zulässt anbelangt, alle andern derartigen Geräthschaften weit übertrifft. Das Magnetometer, so genannt weil es von Gauss ursprünglich zu magnetischen Messungen bestimmt war, lies sich durch Umgebung mit einem Multiplicatordrahte sehr leicht in ein Galvanometer verwandeln.

Die Fig. 143 (Pl. IV. 1) zeigt den Längendurchschnitt dieses Instrumentes in $\frac{1}{5}$ der natürlichen Grösse; Fig 144 (Pl. IV. 2) einen Querschnitt nach der Linie M N. *ab* ist ein prismatischer Magnetstab, 6 Decimeter lang und ungefähr 3 Pfund schwer. Er ruht auf zwei Querstäben von Messing, die mittelst 4 Schrauben an einem beweglichen Rahmen von demselben Metalle befestigt sind. Der obere Theil dieses Rahmens, zugleich mit dem Aufhängesystem ist in Fig. 145 (Pl. IV. 3) in halber natürlicher Grösse gezeichnet. Die Aufhängung geschieht an einem sehr dünnen Eisendrahte (2 Metre davon wiegen 0,553 grm.) von solcher Länge, als es eben die Höhe des Zimmers erlaubt. Unmittelbar über dem oberen Querstücke des Rahmens befinden sich zwei kreisrunde Scheiben von gleichem Durchmesser, von welchen die untere auf dem Rahmen fest sitzt und in Grade getheilt ist (Torsionskreis). An der oberen, die um ihren Mittelpunct drehbar ist, befindet sich nur ein einziger Strich. Diese Scheiben dienen um eine etwa vorhandene Torsion des Drahtes für die Ruhelage der Magnetnadel aufheben, so wie auch bei sehr feinen Messungen, nach vorhergegangenen Versuchen über die Grösse des Torsionswiderstandes, diesen Einfluss selbst mit in

Rechnung nehmen zu können. Zwischen den Rahmstäben eingeschoben, befindet sich ein Planspiegel S, um eine vertikale und eine horizontale Axe drehbar, dessen Halter an den Stäben auf und nieder beweglich ist, und an der passenden Stelle durch Reibung festgehalten wird. Der Magnetstab schwingt innerhalb eines hölzernen Kastens, in dessen Deckplatte sich zwei kleine Oeffnungen befinden, durch welche die Rahmstäbe gehen. Auf beiden Seiten ist er der Nadel entlang durch Glasscheiben geschlossen. Um den Magnetstab herum läuft ein dicker Kupferring rr, der wie in der Folge erklärt werden wird, den Zweck hat, die Schwingungen der Nadel zu mässigen, und aus diesem Grunde der Dämpfer genannt wird. Von demselben nur durch ein dünnes Brettchen getrennt, befindet sich der Multiplicatordraht (von 0,9 mmtre Dicke, 275 Umwindungen in 8 Lagen übereinander) *).

Dem Spiegel gegenüber ist ein Theodolith (siehe Fig. 146) auf einer wo möglich gemauerten und von dem übrigen Fussboden getrennten Unterlage, in ungefähr 4 Meter, oder wenn es angeht auch weiteren Entfernung aufgestellt. Die optische Axe des Fernrohrs am Theodolith ist etwas höher als die Nadel und in einer Verticalebne, die mit der Ebne des magnetischen Meridians einen beliebigen Winkel bilden kann, so abwärts geneigt, dass sie gegen die Mitte des in der Drehaxe des Magnetstabs angebrachten Spiegels gerichtet ist. An dem Stativ des Theodolithen ist eine vier Fuss lange, in einzelne Millimeter getheilte horizontale Scale befestigt, welche die durch die optische Axe des Fernrohrs, den Aufhängedraht der Nadel und die Mitte des Spiegels gehende Vertikalebne winkelrecht durchschneidet. Der Durchschnittspunct, welcher Mittelpunct der Scale heissen mag, wird durch einen von der Mitte des Objectivs herabhängenden sehr feinen und mit einem Gewichte beschwerten Faden bezeichnet; die Scale steht in einer solchen Höhe, dass das Bild eines Theils derselben im Spiegel durch das Fernrohr erscheint, dessen Ocular zum deutlichen Sehen auf die Entfernung dieses Bildes gestellt ist. Die Fig. 147 gibt eine Probe der Scale; die Zahlen sind darauf verkehrt aufgetragen, damit sie im Spiegel gesehen richtig erscheinen.

Fig. 146.

Es erhellt nun leicht, dass wenn die Ebne des Spiegels der Scale parallel gegenübersteht, das Bild des Mittelpunctes der Scale auf der optischen Axe des Fernrohrs erscheinen muss. Dreht sich

*) Magnetometer von dieser Einrichtung, von ausgezeichneter Güte, verfertigt der Mechanicus Leyser in Leipzig.

Fig. 147.

aber der Magnetstab und nöthigt er dadurch die Spiegelebne, denselben Winkel zu beschreiben, so wird ein anderer Punct der Scale vor dem Fernrohr erscheinen und durch den Vertikalfaden seines Fadenkreuzes gedeckt werden. Jede Aenderung in der Richtung der Nadel wird also sogleich wahrgenommen. Es sey $s\,s$

Fig. 148.

(Fig. 148) die Lage des Spiegels bei einer gewissen Stellung der Magnetnadel; o ist die Mitte desselben; CoS die Richtung der optischen Axe des Fernrohrs; AB die Scale; beide auf eine durch die Mitte des Spiegels gelegte Horizontalebne projicirt. Nach optischen Gesetzen wird ein Punct A der Scale durch das Fernrohr sichtbar seyn, wenn $oS = oA$ und wenn der Spiegel eine solche Stellung erhält, dass die Linie AoS die Ebne desselben winkelrecht durchschneidet, so dass S, das Spiegelbild des Punctes A in die Verlängerung der optischen Axe zu liegen kommt. Wenn der Spiegel einen sehr kleinen Winkel soc beschreibt und dadurch in die veränderte Stellung co gelangt, so kommt ein anderer Punct B der Scale vor das Fernrohr. Da nun der beschriebene Winkel nach Voraussetzung sehr klein ist, so schneidet die von dem sichtbar gewordnen Puncte B durch den Spiegel gezogne Senkrechte Bd fast den Punct S, oder das Spiegelbild liegt fast an derselben Stelle wie vorher; d. h. wenn der Spiegel aus der Lage $s\acute{s}$ in die Lage cd übergeht, wird der Beobachter im Puncte C nach und nach alle zwischen A und B liegende Puncte vor dem Auge vorübergehen sehen und es ist für die Empfindung gerade so, als sey vom Mittelpuncte S aus der Bogen ACB beschrieben worden. Nun sind aber die Dreiecke coa und cSd einander ähnlich, weil beide rechtwinklig sind und den Winkel c gemein haben; es muss also auch coa, der Drehungswinkel des Spiegels und der Nadel, gleich seyn ASB.

Man denke sich von S aus mit dem Halbmesser SC einen Kreis gezogen, so bildet die Scale (unter der Voraussetzung dass AB mit SC verglichen, klein sey) gleichsam ein Bogenstück desselben. Es sey z. B. $Co = 5$ Meter, also $CS = 10$ Meter, so findet

man den Kreisumfang = 62,8 Meter = 62800 mmtre oder Scalentheile. Ein Scalentheil in Unterabtheilungen von Graden ausgedrückt entspricht hiernach 20,63 Sekunden; von diesem Intervall lässt sich aber bei einiger Uebung noch $^1/_{10}$ abschätzen.

Bei dieser Berechnung blieb unbeachtet, dass die Scale eine gerade Linie ist und dass S streng genommen nicht als der gemeinschaftliche Mittelpunct für alle Spiegelbilder genommen werden kann; indem man die vor dem Auge vorübergegangnen Scalentheile dem Ablenkungsbogen des Magnetstabs proportional setzt, wird daher ein kleiner Fehler begangen. Derselbe wird bei mässigen Ablenkungen in der Regel ausser Acht bleiben können. Bei den grössten Ablenkungen, welche sich auf der Scale noch ablesen lassen, würde er, die Dimensionen des vorhergehenden Beispiels vorausgesetzt, bis zu 4 Scalentheilen steigen*).

Die Schärfe, womit die geringste Veränderung in der Stellung der Nadel alsbald sich erkennen lässt, ergibt sich am deutlichsten aus dem Umstande, dass man niemals auch nur wenige Augenblicke hindurch genau denselben Punct der Scale vor dem Auge behält. Die Ruhelage der Nadel für einen gewissen Zeitpunct lässt sich daher stets nur aus der Beobachtung ihrer Schwingungen ableiten. Zu diesem Zwecke benutzt man am besten das folgende, auf die sehr langsame Bewegung des Magnetstabs begründete und zuerst in den Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, Jahr 1836, von Gauss beschriebne Verfahren: Man untersucht zuerst, welche gerade Anzahl Sekunden der Schwingungszeit der Nadel am nächsten kommt; diese Zahl sey 2 t. Die Gleichgewichtslage soll nun für einen Zeitpunct T bestimmt werden; so beobachtet man, nachdem die Oscillationen so klein geworden sind, dass sie innerhalb des Spielraums von nur einigen Scalentheilen vor sich gehen, durch das Fernrohr den Punct der

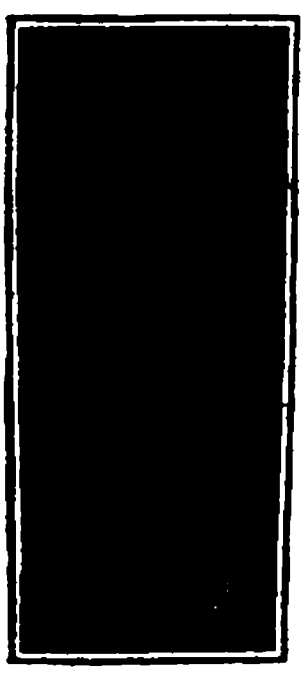
---

*) Ganz genau lässt sich der Ablenkungsbogen auf folgende Weise bestimmen: Es bezeichne o die Mitte des Spiegels; AC die Scale; Cos die Richtung der optischen Axe des Fernrohrs. Der Punct A der Scale wird gesehen, wenn der Spiegel aus der mit AC parallelen Lage so weit abgelenkt ist, dass, für $oA = os$, die Ebne desselben die gerade Linie As winkelrecht durchschneidet. Kennt man nun durch direkte Abmessung in Scalentheilen die winkelrechte Entfernung Co des Spiegels von der Scale, so findet man $\frac{AC}{Co} = \mathrm{tng}\,\alpha$; es ist aber $\frac{\alpha}{2} = Aso$ gleich dem Drehungswinkel des Spiegels.

Fig 149.

Scale, welcher t Sekunden vor dem Termin T und denjenigen Punct, welcher t Sekunden nachher durch den Perpendikularfaden des Fadenkreuzes gedeckt wird. Der zuerst bemerkte Punct sey *a* Fig. 150, während sich die Nadel bei der äussersten Ablenkung in *g* befunden haben mag, so ist es einleuchtend, dass nach Verlauf von 2 t Sekunden, vom Puncte der Beobachtung *a* an gerechnet, die Nadel von der jenseitigen Gränze *h* ebenfalls bereits wieder zurückgewichen seyn und dass, wenn die zweite Beobachtung den Punct *b* bezeichnet, der Mittelpunct der Schwingungen bei geringer Dämpfung um so genauer die Mitte zwischen *a* und *b* seyn muss, je kleiner überhaupt die Bewegungen waren. Inzwischen, grösserer Genauigkeit und Sicherheit wegen, beschränkt man sich hierauf nicht, sondern macht noch einige ähnliche Bestimmungen für ein Paar Zeitmomente kurz vor, und eben so viele nach T, immer in gleichen Zeitabschnitten. Unter dieser Voraussetzung, und insofern die Aenderung der Declination während dieser Zeit als gleichförmig betrachtet werden darf, wird das Mittel aus allen diesen Resultaten, das für die Zeit T geltende Enderesultat seyn, und zuverlässiger als die einzelne Bestimmung für T selbst.

Fig. 150.



Beispiel: Die Magnetometernadel im hiesigen physikalischen Cabinet vollendet eine Schwingung in 22 Sekunden. Hierauf bezieht sich die folgende Beobachtungsreihe, bei welcher von einer Beobachtung zur andern allemal 11 = t Sekunden verflossen

2 Uhr	22′	27″	567		
		38	566	565	
		49	563	563,5	
	23′	0	561	563,5	563,7
		11	564	563,5	
		22	566	563,0	
		33	562		

Die zweite Spalte enthält die einzelnen Aufzeichnungen, die dritte die aus je zwei um eine volle Schwingungszeit von 22 = 2t Sekunden auseinanderstehenden Beobachtungen berechneten Resultate; z. B. 565 ist das Mittel der ersten und dritten Beobachtung und gilt für den Zeitpunct der zweiten. 563,7 ist das Mittel der partiellen Resultate und bezeichnet die Stellung der Nadel um 2 Uhr 23′.

Ein electrischer Strom, der durch die Drahtwindungen geleitet wurde, bewirkte eine Veränderung dieser Stellung. Man erhielt jetzt

2 Uhr	27′	27″	549,0		
		38	551,5	548,25	
		49	547,5	548,75	
	28′	0	546,0	549,00	549,08
		11	550,5	550,65	
		22	555,3	548,75	
		33	547,0		

Und als der Strom wieder unterbrochen wurde:

2 Uhr	32′	27″	564,9	
		38	562,5	563,7
		49	562,5	563,5
	33′	0	564,5	564,5
		11	566,5	564,25
		22	564,0	563,5
		33	560,5	

563,89

Das Mittel der ersten und letzten Stellung, bei welchen kein Strom durch die Nadel ging, ist 563,8; hiervon 549,08 abgezogen, erhält man 14,72 als diejenige Ablenkung, welche durch den Strom bewirkt wurde. Dieser letzteren wird wegen der Kleinheit des wahren Ablenkungswinkels die magnetische Kraft des Stroms proportional gesetzt.

Um den Ablenkungsbogen ganz genau zu finden, muss man wie in der Anmerkung Seite 300 bewiesen wird $\frac{14,72}{R} = \text{tang}\, \alpha$ setzen, wo dann $\frac{\alpha}{2}$ den wahren Ablenkungswinkel gibt. R beträgt in unserem Falle 3398 Scalentheile. Man findet hiernach 14,707 anstatt 14,72.

Bei den feinsten magnetometrischen Messungen, z. B. bei den Untersuchungen über die Veränderlichkeit in der Abweichung des magnetischen Meridians, sowie über die Intensität des Erdmagnetismus, hat man auch für nöthig erachtet, die unmittelbaren Ergebnisse der Beobachtung auf den durch die Torsionskraft des Fadens bewirkten Einfluss zu berichtigen; indem durch diesen Einfluss die Ablenkungen um ein Weniges verringert, die Oscillationszeiten aber verkürzt werden. Näheres hierüber findet man in Pogg. Ann. Bd. 28 S. 263, ferner in den Result. aus den Beobacht. des magnetischen Vereins im Jahre 1840. Seite 128.

Ein Magnetometer der beschriebenen Art mit grossem Magnetstabe gestattet, wie man sieht, die Erreichung jeder nur zu wünschenden Genauigkeit und Schärfe. Es ist das feinste Messinstrument für die magnetischen Kräfte der Erde und des Eisens, und eignet sich gleich gut, um electrische Ströme von jeder Stärke zu messen. Sein Gebrauch ist jedoch mühsam und zeitraubend. Das Magnetometer empfiehlt sich daher weniger zum regelmässigen Gebrauche bei electromagnetischen Untersuchungen, als vielmehr dazu, den Grad der Brauchbarkeit und Treue anderer Galvanometer zu prüfen und die mit denselben erhaltenen Resultate zu controlliren. Man hat indessen, immer unter Beibehaltung des Gauss'schen Princips, auch Magnetometer von viel kleinerem Umfange, mit kurzen Magnetstäben ausgeführt; sie bieten, bei wohl etwas verminderter Schärfe ihrer Anzeigen, doch für den gewöhnlichen Gebrauch eine ungleich grössere Bequemlichkeit.

Ueber das Maass magnetischer Kräfte.

372. Die Magnetnadel gebraucht man, um die Richtung und Stärke magnetischer Kräfte zu messen, ähnlich wie man das Schwere-Pendel benutzt hat, die Richtung und Intensität der Schwere zu ermittlen.

Man denke sich einen Magnetstab mit zwei Polen. Alle Theile

seiner Oberfläche erscheinen mit freiem Magnetismus behaftet, positiv auf der einen, negativ auf der andern Seite seiner neutralen Zone.

Multiplicirt man irgend ein Element des freien Magnetismus mit seinem senkrechten Abstande von der neutralen Zone, so wird das erhaltene Product: das statische Moment dieses magnetischen Elementes genannt. Bezeichnen wir die Summe der Momente aller Elemente auf der positiven Seite mit μl; so bedeutet $+\mu$ eine Menge von freiem Magnetismus, welche in dem Abstande $+l$ ausgeschieden, auf eine Drehung des Stabs um seine Mitte denselben Einfluss äussern würde, wie die auf der positiven Seite wirklich vorhandnen, jedoch über zahllose Puncte zerstreuten magnetischen Kräfte. Eben so kann man sämmtliche auf der negativen Seite vertheilten Kräfte durch eine Kraft $-\mu$, am Hebelsarme $-l$ wirksam, ersetzen. Es ist aber $(-\mu)\ (-l) = \mu l$ wie vorher; beide vertheilte magnetische Kräfte unterstützen sich also bei der Drehung.

Man nennt $2l\mu = M$ das magnetische Moment eines Magnetstabs; $2l$ die Scheidungsweite seines freien Magnetismus.

373. Die Kraft, vermöge der die Magnetnadel um ihre Drehaxe schwingt und eine bestimmte Lage einzunehmen und zu behaupten sucht, steht im zusammengesetzten Verhältnisse der Grösse des Erdmagnetismus und des auf den Abstand l von der Drehaxe reducirten freien Magnetismus der Nadel. Die Stärke des Erdmagnetismus muss bestimmt werden durch die Grösse der bewegenden Kraft, welche in Folge seiner Einwirkung auf die Einheit der freien magnetischen Flüssigkeit ausgeübt wird. Diese Stärke sey T; so bezeichnet der Ausdruck MT das Drehungsmoment der Nadel für den Fall, dass ihre magnetische Axe den magnetischen Meridian (d. h. die Richtung des Erdmagnetismus) rechtwinklig durchschneidet.

374. Unter Einheit der freien magnetischen Flüssigkeit begreifen wir diejenige Menge derselben, deren Abstossungskraft auf eine gleiche Menge der gleichartigen, oder deren Anziehungskraft auf eine eben so grosse Menge der ungleichartigen, in der Entfernung $= 1$, gleich kommt der beschleunigenden Kraft 1 auf die Masse 1. Die beschleunigende Kraft 1 ist aber diejenige, welche innerhalb der Zeiteinheit der in ihrer Richtung sich bewegenden Masse 1 die Geschwindigkeit 1 einprägt; z. B. eine Kraft, welche einem Milligramme Masse in einer Sekunde eine Geschwindigkeit von 1 Millimetre ertheilt.

Gewöhnlich wird die Schwerkraft als Einheit der beschleunigenden Kräfte angenommen. Das neu gewählte Grundmaass hat den Vorzug absoluter Unveränderlichkeit für alle Theile der Erde, und bildet also einen richtigeren Ausgangspunkt der Vergleichung.

Die Beschleunigung der Schwere ist 9,8088 Metre oder 9808,8 Millimetre;

die beschleunigende Kraft der Schwere in dem angenommenen Grundmaasse der Beschleunigung ausgedrückt, würde also 9808,8 betragen.

375. Für die Pendelschwingungen gilt bekanntlich die Formel $t^2 = \pi^2 \frac{l}{c}$ wo l den Abstand des Schwingungspunctes von der Drehaxe und c die Beschleunigung der in der Pendelmasse wirksamen bewegenden Kraft bedeutet. Der gefundene Werth von c ist aber auch der unmittelbare Ausdruck der beschleunigenden Kraft selbst, wenn diejenige beschleunigende Kraft, welche der Masseneinheit in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit 1 ertheilt, als Grundmaass genommen wird.

So würde die beschleunigende Kraft der Schwere = 9808,8 zu setzen seyn, weil c = 9808,8 Mmtre gefunden wird.

Die allgemeine Formel des Pendels ist nicht unmittelbar geeignet, um das Drehungsmoment der Kraft zu bestimmen, welcher es seine Bewegungen verdankt. Sie lässt sich aber sehr leicht zu diesem Zwecke einrichten. Es sey p die in den Schwingungspunct reducirte bewegende Kraft, m die in denselben Punct reducirte Pendelmasse, so ist die beschleunigende Kraft $c = \frac{p}{m}$, folglich auch $c = \frac{pl}{ml}$.

Wird nun dieser veränderte Ausdruck von c, an die Stelle von c in die allgemeine Gleichung gesetzt, so erhält man $t^2 = \pi^2 \frac{llm}{pl}$. Es ist aber $l^2m = K$ gleich dem Trägheitsmomente der Pendelmasse; kennt man daher das Trägheitsmoment eines Pendels und seine Schwingungszeit, so lässt sich aus der Gleichung $t^2 = \pi^2 \frac{K}{pl}$ das Drehungsmoment *pl* durch Rechnung finden.

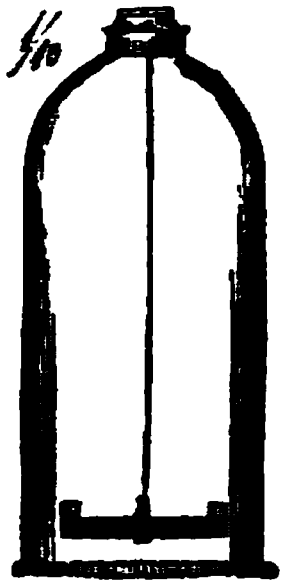
Das Drehungsmoment einer unter dem Einflusse des Erdmagnetismus schwingenden Magnetnadel ist, wie wir gesehen haben, MT. Daher $t^2 = \pi^2 \frac{K}{MT}$ die Gleichung des magnetischen Pendels. Lässt sich das Trägheitsmoment eines Magnetstabes ermittlen, so ergibt sich aus der Beobachtung seiner Schwingungszeit, als Formel für das magnetische Pendel: $MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ (I)

376. Bestimmung des Trägheitsmomentes der Magnetstäbe. Die Mechanik lehrt, dass das Trägheitsmoment eines Körpers von parallelepipedischer Gestalt und bekannter gleichartiger Masse durch Rechnung gefunden werden kann. Die für diese Rechnung geltende Formel, für deren Gültigkeit die Mechanik Rechenschaft gibt, ist: $K = m \frac{l^2 + b^2}{12}$, wo l die Länge, b die Breite, m die

Gewichtsmasse des parallelepipedisch gestalteten Stabes vorstellt und ausserdem noch vorausgesetzt wird, dass derselbe um eine auf *l* und *b* senkrechte durch den Mittelpunct gehende Axe schwinge.

Wenn diese Bedingungen der Gestalt und Aufhängung nicht mit genügender Schärfe als geltend angenommen werden dürfen, lässt sich das Trägheitsmoment auf folgende Weise experimentell ermittlen: Man bestimmt die Schwingungszeit der frei schwingenden Nadel. Man belastet sie hierauf auf beiden Seiten der Drehaxe in abgemessnem Abstande mit trägen, unmagnetischen Massen, z. B. mit prismatischen Stücken Messing, deren Trägheitsmoment, bezogen auf die Drehaxe, bekannt ist, oder doch durch Rechnung leicht gefunden werden kann. Es sey von beiden zusammen $= k$. Man ermittelt nun von Neuem die Schwingungszeit der jetzt langsamer schwingenden Nadel, und gelangt auf diese Weise zu den

Fig. 151.



Gleichungen $MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}$ und $MT = \frac{\pi^2 (K + k)}{t'^2}$

aus deren Combination sich ergibt: $K = \frac{k t^2}{t'^2 - t^2}$.

Beispiel: Die Magnetnadel, deren Trägheitsmoment bestimmt werden soll, wird mittelst einer kleinen Hülse von dünnem Messingblech an einem ungedrehten Seidenfaden horizontal aufgehängt; am besten unter einem Glasgehäuse, wie in Fig. 151, damit während der Schwingungen jeder Luftzug vermieden wird. Auf dem Boden unter der Nadel ist eine gerade Linie ungefähr in der Richtung des magnetischen Meridians gezogen. Man setzt die Nadel in regelmässige, nicht zu grosse Schwingungen und bestimmt mittelst einer Sekundenuhr die Zeitpuncte, in welchen ihre Längenrichtung mit der Linie auf dem Tische parallel steht.

Zeit.		Mittel-	reducirt auf die Mitte
Minuten.	Sekunden.	werthe.	der Beobachtungszeit.
33	51,5		
	59,5	55,5 + 3.9,37	= 34′ 23″,61
		4,75 + 2.9,37	= 34′ 23,49
34	10	14,0 + 1.9,37	= 34 23,37
	18	23,4	= 34 23,40
	28,8	32,9 − 1.9,37	= 34 23,53
	37	42,4 − 2 9,37	= 34 23,66
	47,8	51,7 − 3.9,37	= 34 23,59
	55,6		34′ 23″,52

Die Zahlen in der ersten Spalte sind auf diese Weise gefunden worden. Die Linie auf dem Tische war nicht genau parallel mit dem Meridian. Aus diesem Grunde ergaben sich auf der einen Seite der Linie Minimums-Schwingungen, auf der andern Seite Maximums-Schwingungen. Der hieraus entspringende Fehler gleicht sich jedoch in den Zahlen der zweiten Spalte vollkommen wieder aus. Es sind die Mittelwerthe zwischen je zwei auf einander folgende Beobachtungen. Sie bezeichnen die Anfangs- und Endpuncte der einzelnen Schwingungen. Zwischen den Zeitpuncten 33′ 55″,5 bis zu 34′ 51″,7 sind demnach 6 ganze Schwingungen enthalten. Während ihrer Vollendung verflossen 56,2 Sekunden. $\frac{56,2}{6} = 9,37$ Sekunden gibt daher die Zeit einer Schwingung.

Dieser Werth lässt sich genauer bestimmen, wenn die Zeitmessung länger fortgesetzt wird. Es ist aber zu dem Ende gar nicht nöthig, alle Schwingungen

direkt zu zählen, sobald nur die Mitte der Beobachtungszeit von zwei in beliebig langem Zeitraum auf einander folgenden Beobachtungsreihen genau genug bestimmt wird. Dieser Zeitpunct ist aus der zweiten Spalte nur annähernd bekannt und beträgt hiernach 34′ 23″,4. Man muss zu demselben Puncte gelangen, wenn man zu 33′ 55″,5 drei ganze Schwingungszeiten, oder zu 34′ 4″,75 zwei ganze Schwingungszeiten, oder zu 34′ 14″ eine ganze Schwingungszeit hinzufügt; oder auch indem man von 34′ 32″,9 eine Schwingungszeit abzieht u. s. w. Auf diesem Wege sind die 7 Bestimmungen in der letzten Spalte erhalten worden. Das arithmetische Mittel derselben gibt die wahre Mitte der Beobachtungszeit = 34, 23″,52. Nach einigen Minuten, während deren Verlauf die Schwingungen unausgesetzt fortdauerten, wurde die folgende Beobachtungsreihe erhalten:

Zeit. Minuten.	Sekunden.	Mittelwerthe.	reducirt auf die Mitte der Beobachtungszeit.
40′	31		
	42,5	36,75	41′ 4″,74
	50	46,25	4,95
	1	55,50	4,90
41′	9	5,00	5,00
	19,5	14,25	4,85
	27	23,25	4,55
	38,5	32,75	4,75
			41′ 4″,82

Als Zeit einer Schwingung findet man hier 9,33 Sekunden und als wahre Mitte der Beobachtungszeit 41′ 4″,82 in der zweiten Reihe
— — — — 34′ 23,52 in der ersten Reihe.
Der Unterschied von der Mitte der ersten bis zur Mitte der zweiten Beobachtungsreihe beträgt hiernach 6′ 41″,3 = 401,3 Sekunden.

Diese Anzahl von Sekunden muss einer ungeraden Zahl ganzer Schwingungen entsprechen, denn bei der einen Versuchsreihe ging die zuerst gezählte Schwingung rechts, bei der andern ging sie links. Nun findet man $\frac{401,3}{9,35} = 42,9$. Die diesem Quotienten zunächst stehende und zugleich ungerade Zahl ist 43. Während des Zeitraums von 401,3 Sekunden müssen also 43 Schwingungen stattgefunden haben; wonach als Zeit einer Schwingung sich die Zahl von $\frac{401,3}{43} = 9,333$ Sekunden ergibt.

Die Magnetnadel wurde jetzt auf jeder Seite mit 10 Grm belastet. Der Abstand der Mittelpuncte dieser Massen von dem Drehpuncte betrug 47,2 Mmtre Das Trägheitsmoment beider Massen zusammen, bezogen auf den Drehpunkt war $k = 44780$.

Die Schwingungszeit wurde auf ähnliche Weise wie vorher ermittelt und es wurde gefunden $t' = 11,32$ Sekunden.

Folglich das Trägheitsmoment der Nadel $K = \frac{44780 \times (9,333)^2}{(11,32)^2 - (9,333)^2} = 95050$.

Der gebrauchte Magnetstab war 99,2 Mmtre lang bei $12,2^{mm}$ Seite; er wog 115,5 Grm.

Das Trägheitsmoment nach diesen Daten berechnet, war 96125.

Das Mittel beider Werthe als der Wahrheit am nächsten kommend angenommen, und das Milligramme als Einheit der Masse gesetzt, erhält man endlich $K = 95588000$.

Indem man das gefundene Trägheitsmoment der Nadel mit $\pi^2 = 9,8696$ multiplicirt und durch $t^2 = (9,33)^2 = 87,105$ dividirt, findet man das Drehungsmoment $MT = 10845000$.

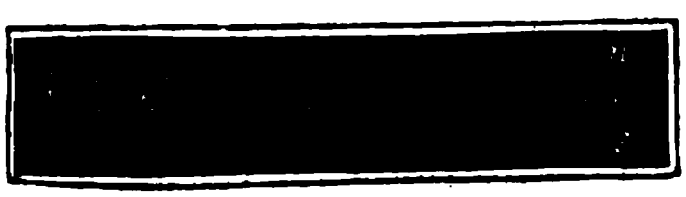
Diese Zahl bezeichnet, ausgedrückt in Einheiten des Grundmaasses, die Grösse der bewegenden Kraft, den Druck, welcher an einem Hebelsarm von 1 Mmtre

wirksam, die gewählte Nadel gerade so um ihren Stützpunkt drehen müsste, wie dieselbe unter dem Einflusse des Erdmagnetismus wirklich bewegt wird, wenn ihre magnetische Axe mit dem magnetischen Meridian einen rechten Winkel bildet. Wollte man diesen Druck in Milligramme übersetzen, so hätte man nur die für MT gefundene Zahl durch 9808,8 (nämlich durch die Beschleunigung der Schwere) zu dividiren.

377. Wenn man die Drehungsmomente verschiedner Magnetstäbe an ein und demselben Orte möglichst kurz hinter einander bestimmt, so dass die Intensität des Erdmagnetismus innerhalb der ganzen Beobachtungszeit als eine constante Grösse betrachtet werden kann, so verhalten sich die gefundenen Werthe wie die magnetischen Momente dieser Stäbe und können daher als Maass derselben gelten.

378. Die Stärke der Einwirkung eines Magnetstabs auf eine entfernt stehende Magnetnadel verhält sich, bei gleichbleibender gegenseitiger Lage, direkt wie sein magnetisches Moment und umgekehrt wie die dritte Potenz der Entfernung seines Mittelpunctes von dem Mittelpuncte der Nadel.

Fig. 152.



Es sey beispielsweise ns (Fig. 152) die Axe einer kleinen Magnetnadel, in deren Umgebung ein Magnetstab so aufgestellt ist, dass seine Axe in die von dem Mittelpuncte der Nadel errichtete senkrechte CO fällt. Es sey $OC = R$ und $OS = ON = l$, ferner $+\mu$ und $-\mu$ das in den Polen N und S ausgeschiedene freie magnetische Fluidum, endlich m das magnetische Moment der Nadel.

Die Einwirkung des im Pole N befindlichen freien Magnetismus auf die magnetischen Kräfte der Nadel steht im zusammengesetzten Verhältnisse der Werthe m und $+\mu$ und im verkehrten Verhältnisse zum Quadrat des Abstandes NC (283). Aehnliche Bedingungen gelten für den freien Magnetismus $-\mu$ des Punctes S. Das Bestreben des Stabs, die Nadel zu drehen, entspricht daher der Kraft

$$F = \frac{\mu m}{(R+l)^2} + \frac{-(-\mu m)}{(R-l)^2} = \mu m \frac{(R-l)^2-(R+l)^2}{(R+l)^2(R-l)^2} = \frac{4\mu m l R}{R^4-2R^2l^2+l^4}.$$

Nun ist $2\mu l = M =$ dem magnetischen Momente des Stabs, folglich indem Zähler und Nenner durch R dividirt wird:

$$F = \frac{2Mm}{R^3-2Rl^2+\frac{l^4}{R}}$$

Ein Ausdruck, der dem Werthe $F = \frac{2Mm}{R^3}$ um so näher rückt, je grösser R gegen l.

Einen ganz allgemeinen, mittelst einer einfachen geometrischen Construction geführten Beweis dieses Satzes findet man in Pogg. Ann. Bd. 55. S. 33.

Angenommen die Axen beider Magnete liegen in derselben horizontalen Ebne und ns sey die Richtung des magnetischen Meridians, NS ist senkrecht gegen den Meridian gestellt. Die Nadel werde um den Winkel α abgelenkt, so strebt der Erdmagnetismus dieselbe mit der Kraft $Tm \sin\alpha$ zurückzurufen, während die ablenkende Kraft des Magnetstabes oder vielmehr das derselben entsprechende Drehungsmoment sich bis zu $\frac{2Mm}{R^3}\cos\alpha$ vermindert hat. Für die

Bedingung des Gleichgewichtes hat man daher

$$Tm \sin \alpha = \frac{2Mm}{R^3} \cos \alpha$$

und hieraus wieder $\text{tng}\, \alpha = 2\frac{M}{T} \cdot \frac{1}{R^3}$ (II)

Den Folgerungen, welche zu dieser Formel geführt haben, liegt die Annahme zu Grunde, dass die magnetische Kraft im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen abnehme. Die Bestätigung des gefundenen Gesetzes durch die Erfahrung gibt einen Beweis für die Richtigkeit jener Annahme.

Das Gesetz der Wirkungen eines Magnets in die Ferne, so wie dasselbe oben ausgedrückt wurde, wird übrigens durch den Versuch nur dann gerechtfertigt, wenn die bewegliche Magnetnadel klein und der ruhende Stab in solcher Entfernung aufgestellt ist, dass die Hälfte seiner Länge weniger beträgt als $^1/_{10}$ des Abstandes der Mittelpuncte beider Magnete.

379. Gauss hat die Frage ganz allgemein behandelt (Pogg. Ann. 28. S. 591) und hat gezeigt, dass der Werth von $\text{tng}\, \alpha$ in einer Reihe nach fallenden Potenzen von R entwickelt werden kann. Für die Mittelwerthe, welche man erhält, wenn man auf die Nadel von entgegengesetzten Seiten symmetrisch einwirkt, ist

$$\text{tng}\, \alpha = \frac{2M}{T} \cdot \frac{1}{R^3} + \frac{a}{R^5} + \frac{b}{R^7} + \ldots . \quad \text{(III)}$$

wo die Coefficienten $\frac{M}{T}$, a, b u. s. w. durch Versuche bestimmt werden müssen.

Begnügt man sich mit den beiden ersten Theilsätzen der Gleichung, was geschehen darf, wenn die Abstände nicht unter die dreifache Länge des längsten der beiden Magnete hinabgehen, so braucht man wenigstens zwei Bestimmungen für zwei Abstände oder Werthe von R, welche zu den Gleichungen

$$\text{tng}\, \alpha = \frac{2M}{T} \cdot \frac{1}{R^3} + \frac{a}{R^5} \text{ und } \text{tng}\, \alpha' = \frac{2M}{T} \cdot \frac{1}{R'^3} + \frac{a}{R'^5}$$

führen. Man entwickelt daraus: $a = R^5 \text{tng}\, \alpha - 2R^2 \frac{M}{T}$

$$\text{und } \frac{M}{T} = \frac{R^5 \text{tng}\, \alpha - R'^5 \text{tng}\, \alpha,}{2(R^2 - R'^2)} \quad \text{(IV)}$$

Indem man die berechneten Zahlenwerthe von $\frac{M}{T}$ und a in die Gleichung setzt, muss sich für jede andere Entfernung R'' die entsprechende Ablenkung α der Magnetnadel im Voraus bestimmen lassen.

Auf diesem Wege hat Gauss ganz allgemein den Beweis für die Richtigkeit des Grundgesetzes aller magnetischen Wirkungen

in die Ferne geführt. (Zu vergl. N. 283.) Die betreffenden Versuche wurden mit dem Magnetometer angestellt, indem man den zweiten Magnetstab längs der auf dem Meridian senkrechten durch den Mittelpunct der beweglichen Nadel gehenden Geraden in verschiedenen Entfernungen aufstellte. Von den zahlreichen a. a. O. Seite 604 mitgetheilten Beobachtungen sind die nachfolgenden entlehnt worden. Die gebrauchten Magnete waren etwa 0,3 Metre lang.

R	α		
Metre			
			$''$
1,3	2^0	13′	51,2
1,5	1^0	27	19,1
2	0	37	16,2
3	0	11	0,7
4	0	4	35,9

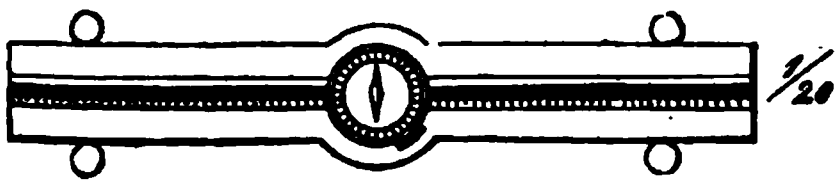
Schon beim flüchtigen Ueberblicke erkennt man, dass die Zahlen der zweiten Spalte fast in umgekehrten Verhältnisse des Cubus der Entfernungen stehen. Eine noch genauere Controlle für die Richtigkeit des Grundgesetzes der Abnahme magnetischer Wirkungen (nämlich umgekehrt wie das Quadrat des Abstandes der Angriffpuncte der wirkenden Kräfte) gewährt die Gleichung

$$\text{tng}\,\alpha = 0{,}086870\,\frac{1}{R^3} - 0{,}002185\,\frac{1}{R^5}$$

in welcher die Coefficienten aus den Beobachtungen selbst abgeleitet sind.

380. Die beschriebenen Ablenkungsversuche lassen sich, allerdings mit Aufopferung eines kleinen Theils der Genauigkeit sehr vereinfachen, wenn man anstatt des Magnetometers, den folgenden von W. Weber (Res. a. d. Beob. d. magnet. Vereins Jahr 1836. S. 63.) angegebenen kleineren Messapparat dazu anwendet. (Siehe Fig. 153.) Derselbe besteht aus einem ein Metre langen Brette aus festem Holze gefertigt, das mittelst vier Schraubenfüssen auf einem Tische genau horizontal gerichtet werden kann. In der Mitte des Bretts ist eine kleine Bussole eingesetzt, deren Nadel höchstens 1 Decimeter lang ist. Die genaue Ablesung ihres Standes kann auf die bereits früher Seite 296 angebene Weise bewerkstelligt werden. Rechts und links von der Mitte sind Unterabtheilungen des Metre's aufgetragen. Neben der Theilung läuft eine zur Aufnahme kleiner Magnetstäbe bestimmte Rinne. Die Stäbe haben gerade 1 Decimeter Länge bei 12 Millimetre Seite. In die Rinne gesetzt, liegt ihre magnetische Axe in gleicher Höhe mit dem Mittelpuncte der Nadel. Der Gebrauch dieses Apparats ist höchst einfach. Der Maassstab wird horizontal und rechtwinklig gegen den magnetischen Meridian gestellt, so dass die Nadel auf den Nullpunct einspielt. Ein

Fig. 153.



Magnet wird in die Rinne gelegt und bei verschiedenen Abständen desselben die bewirkte Ablenkung der Nadel bemerkt. Anstatt eines Magnets kann man auch zwei zugleich anwenden, die man dann in gleichem Abstande von der Nadel, aber auf entgegengesetzten Seiten, den einen z. B. östlich, den andern westlich und so einlegt, dass ihre Wirkungen sich unterstützen. Weil hierdurch die Ablenkungen bedeutend vergrössert werden, vermindert sich der Einfluss der Beobachtungsfehler. M bedeutet in diesem Falle die Summe der statischen Momente beider Magnetstäbe.

Den Abmessungen der Entfernungen liegt die Annahme zu Grunde, nicht nur einer vollkommen regelmässigen Gestalt der Magnetstäbe, sondern auch einer symmetrischen Vertheilung beider magnetischen Flüssigkeiten rechts und links von der Mitte jedes Stabes. Insbesondere die letztere Annahme kann niemals mit Sicherheit gemacht werden. Man entgeht aber dem hieraus möglicherweise entspringenden Fehler, indem man immer in gleichem Abstande, den Magnetstab einmal auf die Ostseite, dann auf die Westseite der Nadel bringt und bei jeder dieser Standorte je zwei entgegengesetzte Ablenkungen, bei umgekehrter Lage des Stabs beobachtet. Man erhält auf diese Weise vier Beobachtungen, deren arithmetisches Mittel als der wahre Werth von α genommen wird. Beispiel:

R Millimetre	Der Stab von der Nadel	Nordpol des Stabs gegen	Ablenkungen	Unterschiede	α
400	Oestlich	Osten	76°	24,1	12°2′15″
	Oestlich	Westen	100°,1		
	Westlich	Westen	100°,05	24,05	
	Westlich	Osten	76°		
300	Oestlich	Osten	61°	55	27°29′15″
	Oestlich	Westen	116°		
	Westlich	Westen	115°,95	54,95	
	Westlich	Osten	61°		

Bei diesen Versuchen waren eigentlich zwei Magnetstäbe von fast gleicher Stärke, in der oben angedeuteten Weise gleichzeitig angewendet worden. Ihre gemeinschaftliche Wirkung entspricht indessen genau der eines einzigen Magneten, dessen Moment $M =$ ist der Summe der Momente beider Stäbe. Die Werthe von R und α in die Gleichung (IV. N. 379) substituirt erhielt man $\frac{M}{T} = 6566500$.

381. Die Tangenten der Ablenkungen einer Magnetnadel unter dem gleichzeitigen Einflusse des Erdmagnetismus und eines Magnetstabs liefern uns das statische Moment des lezteren, dividirt durch die Intensität des Erdmagnetismus. Aus den Schwingungen desselben Stabes unter dem alleinigen Einflusse des Erdmagnetismus, lässt sich, wie wir früher gesehen haben, sein Drehungsmoment oder das Product aus seinem statischen Momente in die Intensität des Erdmagnetismus ableiten. Aus der Verbindung beider Gleichungen

findet man daher nicht nur die mangetische Kraft der Erde, sondern auch das magnetische Moment des Stabes, beide unabhängig von einander und ausgedrückt in absolutem Maasse.

Vorher wurde z. B. gefunden $\frac{M}{T} = 6566500$.

Das Drehungsmoment des einen der bei den betreffenden Ablenkungsversuchen gebrauchten Magnetstäbe war $M'T = 10845000$.

Das Drehungsmoment des andern, auf ähnliche Weise bestimmt, $M''T = 11420000$.

Daher $MT = (M' + M'')T = 21265000$.

Beide Gleichungen multiplicirt und die Wurzel ausgezogen, erhält man $M = 11817000$.

Die zweite Gleichung durch die erste dividirt und wieder die Quadratwurzel genommen findet man $T = 1{,}800$.

Das Drehungsmoment der Erde auf eine transversale Nadel, deren Moment $= M$ ist, ergiebt sich hiernach $= 1{,}8\,M$, wobei das Drehungsmoment eines Milligrammgewichtes, an einem 1 Millimetre langen Hebel $= 9808{,}8$ gerechnet wird. Legt man der Rechnung dasjenige Maass zu Grunde, wonach das Drehungsmoment eines Milligrammgewichtes an einem 1 Millimetre langen Hebel $= 1$, so sind die Zahlenwerthe von M und T in dem Verhältnisse von $\sqrt{9808{,}8} : 1 = 99{,}04 : 1$ zu verkleinern, nach diesem grösseren Maasse gerechnet, wird: $T = \frac{1{,}8}{99{,}04} = 0{,}01817$.

Der Werth T gibt, wie aus der Beobachtungsmethode von selbst einleuchtet, nur den horizontalen Theil des Erdmagnetismus. Um daraus die absolute Intensität abzuleiten, muss T mit dem Cosinusse der Neigung (Inclination) dividirt werden.

Die absolute Intensität des Erdmagnetismus wächst mit der Breite des Beobachtungsortes, während umgekehrt der horizontale Theil derselben nach Norden hin abnimmt und über dem magnetischen Nordpol Null wird. Die horizontale magnetische Erdkraft wird da, wo eigens dazu eingerichtete Räume fehlen, am sichersten im Freien, entfernt von Gebäuden und eisernen Geräthschaften gemessen. In Zimmern von nicht sehr bedeutendem Umfange wird der Werth von T durch die benachbarten Eisenmassen, wie Oefen, Fensterstangen, Wetterableiter u. s. w. oft beträchtlich geändert. Es ist übrigens klar, dass der Werth von T, einmal bestimmt, mag derselbe nun die wahre oder durch dauernde äussere Einflüsse modificirte magnetische Kraft der Erde bezeichnen, an dem Orte der Beobachtung eine sichere Basis bildet, um danach die Wirkungen anderer magnetischer Kräfte auf absolutes Maass zurückführen zu können. Wir erlangen hierdurch ein Mittel, die verschiedensten magnetischen Einwirkungen auch unabhängig vom Beobachtungsorte mit einander zu vergleichen.

382. Das Bifilar-Magnetometer. Die Grösse von T ist nicht nur an verschiedenen Orten der Erde verschieden, sondern auch an ein und demselben Orte veränderlich, sowohl durch Jahrhunderte und Jahre, als auch nach den Jahreszeiten und Tages-

stunden. Die gewöhnlich sehr kleinen täglichen Variationen der Intensität lassen sich mit den bis jetzt beschriebenen Hülfsmitteln des Messens nicht leicht ausfindig machen. Gauss hat daher zu diesem Zwecke einen besonderen Apparat eingerichtet, dem er den Namen Bifilar-Magnetometer gegeben hat. Dasselbe unterscheidet sich von dem gewöhnlichen Magnetometer wesentlich nur durch das System der Aufhängung. Man denke sich um eine Rolle einen dünnen Draht geschlungen und an den beiden herabhangenden Enden ein Gewicht befestigt; so werden im Zustande des Gleichgewichtes beide Drähte senkrecht hängen und eine dritte Senkrechte, mitten zwischen diesen Fäden gedacht, wird den Schwerpunct des Gewichtes treffen. Bringt man den Körper aus dieser Lage, mittelst einer Drehung um die Schwerpuncts-Linie, so werden beide Drähte nicht mehr senkrecht und auch nicht mehr in einer Ebne sein, und zugleich wird das Gewicht um etwas gehoben. Es erhält folglich ein Bestreben zu der vorigen Lage zurückzukehren, welcher ein Drehungsmoment entspricht, das mit der Grösse des Ablenkungsbogens zunimmt*). Man kann den bifilar aufgehängten Körper als ein um die Schwerlinie desselben schwingendes Pendel betrachten. Gesetzt die Ebne beider Drähte während der Ruhelage falle mit der des magnetischen Meridians zusammen und ein horizontaler Magnetstab bilde einen Bestandtheil des aufgehängten Gewichtes, so werden die durch die Aufhängung bewirkte Richtungskraft und die magnetische einander unterstützen, die Ruhelage zu erhalten. Bei jeder andern Stellung der Fäden wirkt die erstere Kraft der letzteren entgegen und nöthigt dadurch die Magnetnadel aus ihrem Meridiane herauszutreten und eine mittlere Stellung einzunehmen, worin beide Kräfte einander das Gleichgewicht halten. Durch passende Drehung der Anknüpfungspuncte der Fäden gibt man nun der Nadel eine solche Stellung, dass sie mit dem magnetischen Meridiane nahe einen rechten Winkel bildet. Der Erdmagnetismus äussert in diesem Falle das Maximum seines Einflusses auf ihre Bewegung und die geringste Aenderung seiner Intensität bewirkt eine proportionale Veränderung des Drehungsmomentes MT, welche sich alsbald durch eine kleine Verrückung der Nadel geltend macht. Kleine Veränderungen der Declination oder der Richtung des magnetischen Meridians, bleiben dagegen ohne bemerkbaren Einfluss auf ihre Stellung, weil das dadurch geänderte Drehungsmoment dem Cosinusse des Ablenkungswinkels proportional ist, der Cosinus

*) Dieses Drehungsmoment ist unter Voraussetzung langer Drähte, dem Sinus der Ablenkung von der Ruhelage fast genau proportional und erhält also bei einer Ablenkung von 90° seinen grössten Werth. Letzterer verhält sich ausserdem verkehrt wie die doppelte Fadenlänge, direkt wie das Quadrat des Abstandes beider Fäden und direkt wie das angehängte Gewicht. (Gauss und Weber Result. etc. 1837 S. 1.)

eines sehr kleinen Winkels aber von der Einheit nicht merklich abweicht.

Mittelst des Bifilar-Magnetometers entdeckt man also die feinsten Aenderungen der magnetischen Intensität der Erde, ähnlich wie man mit dem Unifilar-Magnetometer die geringsten Schwankungen ihrer Richtungskraft wahrnimmt. In der That zeigen beide Nadeln selten auch nur wenige Minuten hindurch einen ganz unveränderten Stand und liefern hierdurch den Beweis, dass sowohl Richtung wie Stärke der magnetischen Erdkraft fortdauernden Störungen unterliegt.

Das Bifilar-Magnetometer ist auch anwendbar, um Magnetstäbe rücksichtlich ihrer magnetischen Stärke unter einander zu vergleichen; ferner in Verbindung mit einem Multiplicator für galvanometrische Zwecke. Es bietet jedoch in dieser Beziehung keine Vorzüge vor dem Unifilar-Magnetometer.

Wir dürfen diesen Abschnitt nicht schliessen, ohne zu erwähnen, dass man, hauptsächlich durch die Bemühungen A. von Humboldt (Gilberts Ann. 1801 St. 3 und 1805 St. 7.) und Hansteen's in Christiania (Pogg. Ann. B. 28 S. 225 u. 353.) über die Veränderungen in der Stärke des Erdmagnetismus ziemlich ausgedehnte Kenntnisse hatte, lange bevor man im Besitze von Mitteln war, die Grösse magnetischer Kräfte nach absolutem Maasse zu bestimmen. Um nämlich die Stärke des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten kennen zu lernen, bedurfte es nur, die Schwingungen einer und derselben Magnetnadel an allen diesen Orten zu zählen. Die gesuchten Intensitäten mussten sich dann verhalten, verkehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Die so gefundenen Werthe waren unmittelbar freilich nur unter einander vergleichbar. Hatte man jedoch die Schwingungsdauer mehrerer Nadeln von beständiger magnetischer Kraft an ein und demselben Orte gemessen und die gefundenen Werthe unter einander verglichen, so war die Möglichkeit gegeben, alle späteren mit diesen Nadeln gewonnenen Resultate auf einerlei Maasseinheit zurückzuführen. Dieses Verfahren setzt, wie man sieht, voraus, dass der freie Magnetismus der angewendeten Nadeln sich ganz unverändert erhalte; eine Annahme, die allerdings nicht streng zulässig ist und auf lange Zeit hin jedenfalls nicht gelten kann. Durch die Zurückführung auf absolutes Maass ist man jetzt in den Stand gesetzt, die Beschaffenheit der Nadel, so oft es erforderlich scheint, einer ganz sicheren Controlle zu unterwerfen.

Ausgerüstet mit sicheren Hülfsmitteln, die Gegenwart electrischer Ströme zu erkennen und bis zu ihren letzten Spuren zu verfolgen, ihre Stärke zu messen, den Grad ihrer Beständigkeit, sowie ihre Dauer zu prüfen und endlich ihre magnetischen Wirkungen mit denen der Erde und des Eisens zu vergleichen, können wir jetzt zu einer umfassenden Untersuchung ihres Verhaltens übergehen.

Die electrochemische Zersetzung (Electrolyse).

383. Die Erzeugung eines galvanisch electrischen Stroms erfordert die Verbindung zu einer geschlossnen Kette von wenigstens drei chemisch verschiedenen, die Electricität leitenden Kör-

pern, unter welchen wenigstens einer zusammengesetzt, am besten flüssig sein muss. In dieser zusammengesetzten Flüssigkeit geht mit dem Beginne des Stroms eine sehr bemerkenswerthe Veränderung vor, welche bei Strömen von einiger Stärke alsbald in die Augen fällt. Es werde z. B. eine Platinplatte und ihr gegenüber eine amalgamirte*) Zinkplatte in verdünnte Schwefelsäure eingetaucht. So lange beide Metalle an keinem Puncte in Berührung kommen, erhalten sie sich in der Flüssigkeit unverändert. Sobald man aber Zink und Platin in unmittelbare Berührung bringt oder auch durch Vermittlung eines andern Metalls die Kette schliesst, zeigt sich an der Oberfläche des Platins eine lebhafte Gasentwicklung, während das Zink sichtbar angegriffen und nach und nach aufgelöst wird. Das entwickelte Gas ist Wasserstoff. Schwefelsäure muss also zersetzt worden seyn, ihr Radical SO_4 verband sich mit dem Zink, während Wasserstoff dafür ausgeschieden wurde. Verbindet man mehrere galvanische Paare zu einer zusammengesetzten Kette, so zeigt sich ein ganz ähnliches Verhalten in der Flüssigkeit eines jeden Gliedes derselben. Wird in den Kreis der zusammengesetzten Kette ein Gefäss mit Flüssigkeit eingeschaltet, in welche zwei ganz gleiche Metallstreifen eintauchen, so geht nichts desto weniger auch hier eine Zersetzung vor sich. — Ein solches, für sich betrachtet, unwirksames Glied einer galvanischen Säule, nennt man vorzugsweise: die Zersetzungszelle.

Für die durch den electrischen Strom unmittelbar bewirkte chemische Zersetzung scheint der von Faraday gewählte Name Electrolyse allgemein angenommen worden zu seyn. Der zusammengesetzte Stoff selbst, welcher der Electrolyse unterliegt, heisst Electrolyt.

Die meisten, wenn nicht alle zusammengesetzten Flüssigkeiten, welche zugleich Leiter der Electricität sind, können, in die Zersetzungszelle gebracht, durch den electrischen Strom zersetzt werden. Sie sind jedoch nicht alle mit gleicher Leichtigkeit zersetzbar.

Z. B. Jodkalium in Wasser aufgelöst, wird durch die Kraft eines jeden einfachen electrischen Paares zersetzt.

Verdünnte Schwefelsäure in der Zersetzungszelle lässt sich, wenigstens in auffallender Weise, nur unter dem Einflusse eines kräftigen Electromotors in ihre näheren Bestandtheile SO_4 und H zerlegen.

Reines Wasser zersetzt sich noch weit schwieriger, selbst

*) Man amalgamirt die Zinkplatten durch Eintauchen in aufgelöstes salpetersaures Quecksilber, oder auch indem man auf der mit verdünnter Schwefelsäure oder Salzsäure gereinigten Platte metallisches Quecksilber durch Reiben ausbreitet. Amalgamirte Zinkplatten gleichwie chemisch reines Zink, sind für sich in Salzsäure und verdünnter Schwefelsäure unauflösiich.

wenn es der Einwirkung starker galvanischer Batterien ausgesetzt wird.

384. Welche Flüssigkeit übrigens zersetzt werden mag, immer findet man, dass ihre Elemente getrennt von einander, das eine an der einen, das andere an der andern der eingetauchten Platten sich absondern; mögen nun diese Platten einander nahe oder entfernter gegenüberstehen. Man bemerkt zugleich, dass der electropositive Bestandtheil einer Verbindung (z. B. der Wasserstoff des Wassers) an demjenigen Metallstreifen ausgeschieden wird, von welchem aus die negative Electricität in die Flüssigkeit übergeht, d. i. an dem negativen Pole oder an der negativen Seite der Kette; der electronegative Bestandtheil hingegen (z. B. der Sauerstoff) an derjenigen Metallfläche, von welcher aus die positive Electricität eindringt, nämlich am positiven Pole oder an der positiven Seite*).

385. Besitzt eine eingetauchte Metallplatte die Eigenschaft, sich mit dem an ihrer Oberfläche durch die Electrolyse ausgesonderten chemischen Elemente verbinden zu können, so geht diese Verbindung in der Regel auch vor sich. Werden z. B. Zink- oder Kupfer- oder Silberplatten in die verdünnte Schwefelsäure der Zersetzungszelle gebracht, so entwickelt sich am negativen Pole Wasserstoff, während am positiven ein schwefelsaures Metallsalz gebildet wird. Gebraucht man als negativen Pol eine oxydirte Substanz, welche die Electricität leitet, z. B. Braunstein, so wird sie auf Kosten des sich entbindenden Wasserstoffs desoxydirt. Taucht man aber Platinplatten ein, so geht an beiden eine Gasentwicklung vor sich und zwar erhält man an der negativen Seite Wasserstoff, an der positiven Sauerstoff. Ist der Apparat so eingerichtet, dass beide Gase getrennt aufgefangen werden können, und hatte man als Flüssigkeit ein Gemenge von reinem Wasser mit reiner Schwefelsäure gewählt, so zeigt sich das Verhältniss der Volumina von Wasserstoff und Sauerstoff wie 2 : 1. Lässt man beide Gase zusammen in

---

*) Die Pole einer geschlossenen galvanischen Kette, oder richtiger, die mit den Polen verbundenen Begränzungsflächen der Flüssigkeit in der Zersetzungszelle werden von manchen Physikern nach dem Vorgange Faraday's: die Electroden genannt. Die Fläche der Flüssigkeit selbst, da wo sie die positive Electrode, also diejenigen Begränzungspuncte berührt, von welchen aus die positive Electricität eindringt, heisst Anode, da wo sie die negative Electrode berührt, Kathode Den Elementen des sich zersetzenden Stoffs, des Electrolyts, wird nach dieser Terminologie der Name Ionen gegeben; der electronegative Bestandtheil (der an der Anode sich ausscheidende) für sich betrachtet heisst Anion, der electropositive Bestandtheil Kation.

Diese Namen sind in der vorliegenden Schrift nicht adoptirt worden, weil aus derartigen Bezeichnungen, die statt anderer bereits üblich gewordner gesetzt werden, ohne doch etwas wirklich Neues zu sagen und ohne etwas zu erklären, wohl Verwirrung, aber kein Nutzen für die Wissenschaft entspringen kann.

ein Eudiometer gehen und entzündet sie dann durch den electrischen Funken, so verschwinden beide vollständig. Durch die Electrolyse hatten sich also gleiche Aequivalente Wasserstoff und Sauerstoff gebildet.

In allen übrigen, Flüssigkeit enthaltenden Zellen, welche Glieder einer Säule ausmachen, geht die electrochemische Zersetzung ganz in demselben Sinne vor sich, wie in der vorzugsweise so genannten Zersetzungszelle; an der Seite, von welcher die positive Electricität einströmt, tritt das negative Element der zersetzten Verbindung auf, auf der gegenüberstehenden Seite das positive Element. Dieses Verhalten bemerkt man selbst in der Flüssigkeit solcher Zellen, die einer electrischen Säule in verkehrter Ordnung eingeschaltet worden sind.

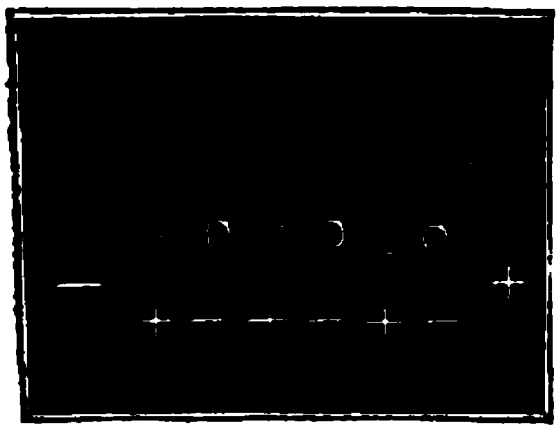
Füllt man z. B. in dem Volta'schen Becherapparate (Fig. 130 S. 273) sämmtliche Gefässe mit verdünnter Schwefelsäure und schliesst die Kette durch Verbindung der beiden Enden, so entwickelt sich Wasserstoff an allen Kupferplatten, während an allen Zinkplatten schwefelsaures Zink gebildet wird. Vertauscht man eine Zinkplatte mit einer Platinplatte, so tritt Sauerstoffgas an derselben auf. Kehrt man ein einzelnes Metallpaar um, d. h. bringt man seinen Kupferstreifen an die Stelle, welche der Ordnung nach der damit verbundene Zinkstreifen einnehmen sollte, und folglich das Zink an die Stelle des Kupfers, so scheidet sich an dem verkehrt eingereiheten Zink Wasserstoff ab, und das Metall bleibt unaufgelöst, während alle übrigen Zinkplatten aufgelöst werden; an dem verkehrt eingeschalteten Kupfer wird schwefelsaures Kupfer gebildet. Kurz je nach der Stellung, die man einem Metalle in der electrischen Kette gibt, lässt sich seine Einwirkung auf die Flüssigkeit begünstigen und aufhalten; und diess selbst in solchen Flüssigkeiten, auf welche es unter gewöhnlichen Umständen ganz wirkungslos erscheint. Die meisten Metalle, mit Ausnahme von Gold und Platin, als positives Ende einer kräftigen Kette, können sogar in reinem Wasser und bei Abschluss der Luft oxydirt werden.

Man kann sich von der electrochemischen Zersetzung durch die folgenden theoretischen Betrachtungen Rechenschaft geben: Ungleichartige Stoffe gelangen im Augenblicke der Berührung in einen entgegengesetzt electrischen Zustand, oder sie nehmen eine bestimmte electrische Differenz an, die sich, so lange die Berührung währt, unveränderlich erhält (344). Dieser Satz für Körper von messbarer Grösse als richtig erkannt, muss für ihre kleinsten unmessbaren Theile, für die Atome selbst, eine gleiche Geltung haben. Nun ist jede chemische Verbindung eine Nebeneinanderlagerung ungleichartiger Elemente, z. B. in einem Atom Wasser ist ein Atom Wasserstoff neben ein Atom Sauerstoff gelagert. Das eine dieser Elemente muss sich daher fortdauernd im positiv electrischen Zustande, das andere fortdauernd im negativ electrischen Zustande befinden; und zwar lehrt das Gesetz der Spannungsreihe (346), dass der Sauerstoff oder der in der chemischen Verbindung die Rolle desselben übernehmende Stoff $-E$, der andere dem Kalium verwandtere oder dessen Stelle vertretende $+E$ enthält. In dem Wasserelemente z. B. ist H positiv, O negativ electrisch.

So wie der flüssige Leiter in den Kreis des electrischen Stroms gelangt,

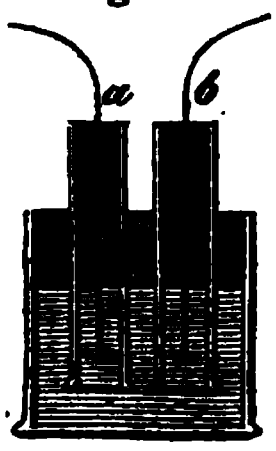
werden seine Elemente je nach ihrer besonderen electrischen Beschaffenheit von den eingetauchten Polplatten angezogen und die leicht beweglichen flüssigen Theile werden dadurch genöthigt, sich nach der in Fig. 154 angedeuteten Weise zu ordnen. Von diesem Augenblicke an tritt jedes Atom der Flüssigkeit in ganz gleiche Beziehung zu den einen oder andern der beiden benachbarten Atome; es kann eben so wohl mit dem einen wie mit dem andern verbunden betrachtet werden. In eine ähnliche Beziehung treten die äussersten Sauerstoff- und Wasserstoffatome zu den kleinsten Theilchen der eingetauchten Metallplatten, womit sie in Berührung kommen. Auf diesen Polplatten bemerkt man aber, als Folge der electromotorischen Thätigkeit, ein Uebergewicht der electrischen Anhäufung (365). Man hat Grund anzunehmen, dass dadurch ihre chemische Anziehung zu den entgegengesetzt electrischen Elementen der Flüssigkeit verstärkt wird, bis sie die entgegenwirkende Anziehung der gleichartig electrisirten Elemente überwiegt; ihre Verbindung, wenn überhaupt möglich, muss daher vorzugsweise erfolgen. Reisst nun vermöge dieser gesteigerten Wirksamkeit z. B. die in das Wasser eingetauchte positive Polfläche die benachbarten Sauerstofftheile an sich, so findet die Affinität der früher mit diesem Sauerstoffe verbundenen Wasserstoffatome Befriedigung in der Anziehung der zunächst liegenden noch nicht ausgeschiedenen Sauerstofftheile, deren Wasserstoff sich dann wieder auf die folgenden Sauerstoffatome wirft u. s. f., bis zu den an der negativen Gränzfläche anlehnenden Wasserstofftheilen, die sich mit der Substanz jener Gränzfläche zu verbinden streben. Kann diese Verbindung nicht vor sich gehen, so muss sich die eingetauchte Platte, vermöge der wechselseitigen Anziehung entgegengesetzt electrisirter Theilchen gleichwohl mit einer Schicht Wasserstoff überziehen. Alle später aus ihrer Verbindung mit dem Sauerstoffe austretenden Wasserstoffatome finden also gar keine freien Metallpuncte mehr vor, von welchen sie festgehalten werden können; sie entwickeln sich in Gasform, indem sie ihre freie $+E$ auf die die Metallplatte umhüllende und eben dadurch mit freier $-E$ beladene Wasserstoffschicht absetzen, und aus dem sogenannten Erzeugungszustande (*status nascens*) in den gewöhnlichen Zustand übergehen. Nach dieser Vorstellungsweise ist Leitung der Electricität durch eine zersetzbare Flüssigkeit nichts anderes als eine Uebertragung der ursprünglich in jedem Atom der Verbindung enthaltenen Electricitätsmenge von Atom zu Atom, und man gelangt zu der weiteren Folgerung, dass die Menge der fortgeleiteten Electricität gleichen Schritt halten müsse mit der Quantität der Zersetzung. Für die Richtigkeit dieser Folgerung werden wir später einen direkten Beweis erhalten.

Fig. 154.



386. Die Electrolyse ist stets von einer Ueberführung von einem Pole zum andern wenigstens des einen der Bestandtheile der zerlegten Verbindung begleitet. Um diese Erscheinung deutlich wahrnehmen zu können, muss man der Zersetzungszelle eine Einrichtung, etwa so wie die Figur 155 andeutet, geben. *a* und *b* sind offene Glascylinder, die man in die Flüssigkeit der Zelle zu beliebiger Tiefe eintaucht; der eine ist bestimmt, um die positive Polplatte, der andere um die negative Polplatte einer kräftigen galvanischen Batterie aufzunehmen.

Fig. 155.



Gesetzt dieses Gefäss enthält verdünnte Schwefelsäure, so verschwindet die saure Reaction in der Umgebung des negativen

Pols nach und nach vollständig. Hatte man die untere Oeffnung des Rohrs *a* mit Blase umbunden, welche den Durchgang der Electricität nicht hindert, ohne doch eine unmittelbare Vermischung der inneren mit der äusseren Flüssigkeit zu gestatten, so concentrirt sich die Säure in *a*, während die in *b* fortgeht. — Ist die der Zersetzung unterworfene Flüssigkeit eine Lösung von Glaubersalz oder von irgend einem andern alkalischen Salze, so geht nach und nach alles Alkali von *a* nach *b*, die Säure von *b* nach *a*. Bringt man aber ein Ammoniaksalz oder die Auflösung eines schweren Metalles, z. B. Kupfervitriol, in die Zelle, so wird nur die Säure fortgeführt und verschwindet in dem Rohre *b* gleichzeitig mit dem Kupfer, das ausgefällt wird, ohne dass sich die Menge des Kupfers in der Nähe des positiven Pols merklich vermindert. Hat man das Rohr *b* mit Blase umbunden und vor Anfang des Versuchs mit reinem Wasser gefüllt, so scheidet sich unmittelbar an der Gränzfläche beider Flüssigkeiten Kupferoxyd ab, in sehr geringer Menge zwar, aber allmählig aufwärts wachsend gegen die Polplatte hin, an welcher sich Wasserstoffblasen absetzen. Auf dieselbe Weise verhalten sich auch andere Metallsalze, deren Basen in Wasser unauflöslich sind, wie Manganoxydul, Eisenoxydul, Zinkoxyd, Bittererde u. s. w. Man muss hieraus schliessen, dass ihre metallischen Radicale doch nicht ganz unfähig sind, während des electrischen Zersetzungsprocesses fortgeführt zu werden.

387. Gewöhnlich findet man, dass die chemische Zersetzung in der geschlossnen Kette gleich nach der Schliessung am raschesten vor sich geht, nach kurzer Zeit aber sehr auffallend abnimmt. Hat man ein Galvanometer eingeschaltet, so zeigt sich eine gleichzeitige Abnahme in dessen magnetischer Wirksamkeit. Diese Verminderung erreicht in vielen Fällen einen kleinsten Werth, bei welchem dann die Stromstärke längere Zeit (z. B. bei Anwendung von Zink und Kupfer in verdünnter Schwefelsäure, bis zur völligen Abstumpfung der letzteren) ziemlich unveränderlich anhält. Oft bemerkt man aber auch eine fortdauernde Abnahme, zuweilen bis zum gänzlichen Verschwinden des Stroms.

Die Stromstärke nimmt wieder zu, wiewohl selten bis zur anfänglichen Grösse, wenn man die Kette eine kurze Zeit geöffnet lässt. Die ganze anfängliche Stärke wird gewöhnlich nur dann wieder erreicht, wenn die Metallplatten, hauptsächlich diejenigen auf der negativen Seite jeder Zelle herausgenommen und sorgfältig gereinigt werden.

Metallplatten, deren electrische Erregungsfähigkeit auf die beschriebene Weise verändert worden ist, nennt man polarisirt. Dieser Name ist in Gebrauch gekommen, lange bevor man die Natur jener Veränderung deutlich erkannt hatte. Jetzt weiss man, dass die sogenannte electrochemische Polarisation durch den Absatz irgend fremdartiger Stoffe herbeigeführt wird, die auf den in

der Flüssigkeit befindlichen Metallplatten in Folge der Electrolyse ausgeschieden werden.

Man tauche z. B. ein Paar Zink-Kupferplatten einander gegenüber in eine concentrirte Lösung von Zinkvitriol und verbinde sie durch Vermittlung des Multiplicatordrahts. Es zeigt sich ein Strom, anfangs von bedeutender Stärke, der aber rasch abnimmt und allmählig aufhört. Dabei bedeckt sich das Kupfer mit metallischem Zink und wird davon nach und nach weiss (oder bei Erwärmung der Flüssigkeit, durch Bildung von Messing, gelb) gefärbt; während die Zinkplatte bemerkbar angegriffen wird und an Gewicht verliert. Unter dem Einflusse der electromotorischen Kraft, erregt bei der Berührung des Zinks mit Kupfer, war also das erstere befähigt worden, den Zinkvitriol zu zersetzen und sich seiner Schwefelsäure zu bemächtigen, während das hierdurch aus der Flüssigkeit ausgesonderte Zink auf dem Kupfer niedergeschlagen wurde. Diese Wirkung musste jedoch aufhören, sobald beide Metalle eine gleichartige Oberflächen-Beschaffenheit angenommen hatten.

Wird in einer galvanischen Kette Wasser oder eine wässrige Verbindung zersetzt, so umhüllt sich die electronegative Gränzfläche der Kette mit Wasserstoff, ähnlich, wie vorher das Kupfer mit Zink. Wenn man eine solche durch Wasserstoff polarisirte Metallplatte mit einer andern, reinen übrigens gleichartigen Platte zu einer Kette schliesst, so entsteht ein bald wieder erlöschender Strom, wobei die mit Wasserstoff umgebene Metallseite die Stelle des Zinks übernimmt. Das Zink selbst, nachdem sich Wasserstoff daran abgelagert hat, verhält sich reinem Zinke gegenüber auf kurze Zeit wie ein electropositiveres Metall. Dieses Verhalten wird aber nur durch die Gegenwart des Wasserstoffs bedingt und hört wieder auf, so wie letzterer verschwunden ist. Der Wasserstoff behauptet folglich in der Spannungsreihe eine dem Kalium näher liegende Stelle als das Zink. — Man begreift nunmehr, dass der Wasserstoff, sobald er sich an dem electronegativen Metalle (an der Kupfer- oder Platinplatte) abzuscheiden beginnt, die vorherige Richtung der electromotorischen Thätigkeit umzudrehen, d. h. eine Kette in der Ordnung Wasserstoff, Flüssigkeit, Zink, Platin, Wasserstoff (anstatt der früheren Ordnung: Zink, Flüssigkeit, Platin, Zink) zu bilden strebt, deren Wirksamkeit, insofern das Platin sich mit einer Hülle von Wasserstoff vollständig umgeben konnte, der electrischen Differenz des Wasserstoffs bei unmittelbarer Berührung mit dem Zinke entsprechen muss (347). Eine solche vollständige Umkehrung des primären Stroms, hervorgerufen durch eine sekundäre electromotorische Thätigkeit, kann unter gewöhnlichen Umständen begreiflicher Weise nicht eintreten. Sie kann aber vorübergehend erhalten werden, wenn man eine Platinplatte in reinem Wasser zuerst als — Pol einer kräftigen Batterie anwendet, und dann in derselben Flüssigkeit mit Zink zu einer Kette

verbindet. D. h. man erhält unter diesen Umständen einen Strom, der anfangs von dem Platin durch die Flüssigkeit zum Zinke übergeht, dann nach und nach abnimmt, verschwindet und endlich nach einer kurzen Zeit des Stillestandes die Nadel, mit geringer Kraft, jedoch bleibend nach der andern Seite ablenkt.

Die Erregungsfähigkeit des Platins wird in umgekehrtem Sinne verändert, es wird entgegengesetzt polarisirt, wenn sich Sauerstoff daran absetzt. Sein Vermögen, andere Metalle bei der Berührung electropositiv zu erregen, wird nämlich scheinbar dadurch gesteigert; in der That aber ist es die Sauerstoffhülle, von welcher diese erhöhte Wirksamkeit herrührt.

Zwei Platinplatten, von denen die eine mit Wasserstoff, die andere mit Sauerstoff polarisirt ist, in verdünnter Schwefelsäure einander gegenübergestellt und metallisch verbunden, verhalten sich einige Augenblicke wie eine Wasserstoff-Sauerstoffkette, deren electromotorische Kraft, wegen des weiten Abstandes dieser Stoffe in der Spannungsreihe, von sehr beträchtlicher Grösse ist. Aus mehreren Elementen dieser Art in gleichem Sinne hinter einander geordnet, lassen sich Säulen von sehr bedeutender Wirksamkeit, aber freilich nur kurzer Dauer errichten. Poggendorff ist es durch eine sinnreiche Vorkehrung gelungen, die Polarisation der Platinplatten während des Gebrauchs immer wieder zu erneuern und er hat dadurch die Kraft einer solchen Wasserstoff-Sauerstoffsäule wirklich nutzbar zu machen gewusst (Pogg. Ann. 60. S. 568). Auf der Polarisation der Metallplatten beruhen alle Eigenschaften der von Ritter entdeckten sogenannten Ladungssäule. Eine Anzahl gleichartiger Metallplatten, z. B. Kupferplatten, abwechselnd mit feuchten Pappscheiben zusammengeschichtet, werden eine Zeitlang in den Kreis der Säule oder auch nur zwischen beide Conductoren einer kräftigen Electrisirmaschine gebracht; wodurch sie auf kurze Zeit das Verhalten einer selbstthätigen electrischen Säule annehmen.

Platinplatten, die sich durch Eintauchen in Sauerstoff- oder Wasserstoffgas mit einer Schicht des einen oder andern dieser Stoffe bekleidet haben, verhalten sich ähnlich wie das durch Electrolyse polarisirte Platin; und überhaupt nimmt eine jede Metallplatte, die auf irgend welche Weise mit einer noch so dünnen Schicht eines fremdartigen Stoffes bedeckt worden ist, ganz dieselbe Beschaffenheit an, wie wenn sie durch denselben Stoff auf electrochemischem Wege polarisirt worden wäre.

Da nun die Oberflächen der Körper selten ganz rein und selbst dann, wenn es dem Auge nicht unmittelbar auffällt, meistens dennoch mit Spuren fremdartiger Stoffe bedeckt sind; so wird es begreiflich, dass selbst gleichartige Metalle, z. B. zwei Streifen aus demselben Stücke geschnitten, wenn sie neben einander in eine Flüssigkeit gesenkt und durch die Enden eines empfindlichen Mul-

tiplicators verbunden werden, häufig eine bemerkbare Ablenkung der Nadel bewirken, die jedoch in den meisten Fällen nur von kurzer Dauer ist. Eine solche vorübergehende electrische Wirkung kann sogar schon durch ungleichzeitiges Eintauchen übrigens ganz gleichartiger Metallstreifen herbeigeführt werden. (Ann. der Ch. u. Pharm. B. 34. S. 241.)

388. Die Aenderungen, welche an den Oberflächen der Körper unter dem Einflusse der electrischen Kraft vorgehen, verändern häufig auch ihr chemisches Verhalten. Für die meisten Metalle z. B. ist Salpetersäure ein wirksames Oxydations- und Auflösungsmittel; bei mehreren derselben wird aber durch die Berührung mit Zink und die Erregung eines Stroms, der von diesem Metalle durch die Flüssigkeit zum andern übergehend, an dem letzteren die Ausscheidung von Wasserstoff bedingt, jene Einwirkung, so lange die Berührung währt, ganz unterbrochen. So verhält sich das Eisen, das Blei, das Kupfer, das Silber u. s. w. Aus demselben Grunde werden Gold und Platina, durch die Berührung mit einem electropositiveren Metalle verhindert sich in Salpeter-Salzsäure zu lösen. Das von H. Davy ersonnene Mittel: den Kupferbeschlag der Schiffe durch Zink vor dem Anfressen des Seewassers zu schützen, beruht eben auf diesem Principe.

Wenn einerseits die Oxydation des electronegativen Metalls einer galvanischen Kette mit dem Beginne des Stroms aufgehalten und selbst ganz gehindert wird, so zeigt andererseits der electropositive Bestandtheil ein um so mächtigeres Bestreben, den Sauerstoff aufzunehmen. So ist die Affinität des Zinks für sich nicht gross genug, um dem Wasser seinen Sauerstoff entziehen zu können, denn chemisch reines Zink wird in verdünnter Schwefelsäure nicht angegriffen. Die Auflösung beginnt aber sogleich, wenn es innerhalb der Flüssigkeit mit einem electronegativeren Metalle berührt wird. Das gewöhnliche Zink des Handels ist, wie man weiss, für sich schon sehr leicht löslich. Es enthält aber ziemlich viel Kohlenstoff und Eisen eingemengt, und diese Gemengtheile, überall wo sie an die Oberfläche, also zugleich mit dem Zinke und der Flüssigkeit in Berührung treten, geben Veranlassung zu electrischen Strömen und erhöhen dadurch die Oxydirbarkeit des Zinks. Es scheint dass der Nutzen des Amalgamirens wesentlich darauf beruht, dass dadurch rings um die äusserste Oberfläche der Zinkplatte eine Legirung von ganz gleichförmiger Beschaffenheit erzeugt wird, während Kohle und Eisen, die sich mit Quecksilber nicht verbinden können, entweder ganz ausgeschieden oder zurückgedrängt werden.

Hierher gehört auch der eigenthümliche Zustand chemischer Unthätigkeit, welchen mehrere Metalle unter gewissen Bedingungen gegen Flüssigkeiten zeigen, die sie unter gewöhnlichen Umständen zersetzen. Das Eisen z. B. wird, wie bekannt, von der

käuflichen Salpetersäure von 1,35 spec. Gewicht heftig angegriffen; zuweilen aber bemerkt man, dass diese Einwirkung ohne irgend äusseres Zuthun plötzlich unterbrochen wird und dass dann das Eisen mitten in der Flüssigkeit eine glänzende Metallfläche annimmt und beibehält. Durch wiederholtes Eintauchen und Herausnehmen aus der Säure lässt es sich sehr leicht in diesen unwirksamen Zustand überführen. Senkt man einen Eisendraht, der mittelbar oder unmittelbar mit Platin in metallischer Berührung steht, in der Weise in die Salpetersäure, dass das letztere Metall zuerst eingetaucht wird, so behält er gleich von Anfang seinen Metallglanz. Sind beide Metalle durch den Multiplicatordraht verbunden, so zeigt sich anfangs ein starker, rasch abnehmender Strom, der jedoch, nachdem ein gewisses Minimum erreicht ist, sich Tage lang unverändert erhält. Seine Richtung, vom Eisen durch die Säure zum Platin gehend, deutet auf eine langsame Zersetzung der Flüssigkeit, nämlich Oxydation des Eisens und Ausscheidung von Wasserstoff am Platin. In der That vermindert sich allmählig das Gewicht des Eisens, z. B. 5 Grm waren nach 8 Tagen um 0,42 Grm leichter geworden, und endlich, bei sehr lange Zeit fortgesetzter Einwirkung löst es sich, ungeachtet der fortdauernden Berührung mit dem Platin, vollständig auf.

Nimmt man einen solchen unthätigen Eisendraht als Ausgangspunct einer stärkeren electrischen Kette, jedoch unter Beibehaltung der früheren Richtung des Stroms, so oxydirt er sich sichtbarer, in gewöhnlicher Salpetersäure unter Entwicklung von Stickstoffoxydgas, in sehr stark verdünnter Säure unter Entwicklung von Stickstoffoxydulgas, aber niemals unter Entbindung von Sauerstoff. (Ann. d. Ch. u. Pharm. 34. 258.) Unthätiges Eisen hält sich auch in salpetersaurem Silber und schwefelsaurem Kupfer oft mehrere Stunden hindurch ganz unverändert. Wird es aber mit gewöhnlichem Eisen oder besser mit Zink berührt, oder hatte es nur einen Augenblick als negativer Pol einer Säule gedient, so dass sich Wasserstoff daran absetzen musste, so wird es sogleich wieder, wie gewöhnliches Eisen, von der Säure angefressen. Gewöhnlich reicht Abwaschen mit Wasser oder Abwischen mit Fliesspapier hin, um den Zustand der Unwirksamkeit aufzuheben. Diese Eigenschaft gehört übrigens dem Eisen nicht ausschliesslich an, Antimon, Wismuth, Zinn, Silber, Blei und selbst Kupfer verhalten sich auf ähnliche Weise. Alle diese Metalle besitzen keine sehr grosse Verwandtschaft zum Sauerstoff und die Verbindungen ihrer Oxyde mit Salpetersäure zeigen nur geringe Innigkeit. In concentrirter Salpetersäure von 1,5 spec. Gewicht erhalten sie sich sämmtlich unverändert und werden von dieser Säure wie bei der Berührung mit Sauerstoff electropositiv erregt. Die Folgerung liegt daher nahe, dass wenn durch irgend welche electrische Thätigkeit die Elemente der Salpetersäure eine Richtung erhalten,

wodurch vorzugsweise die Atome ihres electronegativen Radicals (NO_6) mit dem eingetauchten Metalle in Berührung kommen und daran haften, die so veränderte Metallfläche sich in wasserhaltiger Salpetersäure ähnlich wie in der concentrirten verhalten müsse.

Dieses Verhalten ist schon vor dem Jahre 1827 von Wetzlar beobachtet und seinen Hauptpuncten nach von ihm und später von Herschel studirt worden. Nach der Hand haben sich auch andere Physiker, insbesondere Schönbein (Pogg. Ann. Jahre 36—38.), damit beschäftigt. Letzterer hat es durch den Namen Passivität noch besonders hervorheben zu müssen geglaubt.

389. Es liegt in der Natur der Sache, dass, wenn verschiedenartige feste Körper in irgend welche zusammengesetzte Flüssigkeit eingetaucht werden, das Bestreben ihrer Oberflächen, auf die Bestandtheile dieser Flüssigkeit chemisch einzuwirken, in der Regel ungleich seyn wird. Z. B. Zink in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure getaucht, richtet seine Anziehung vorzugsweise gegen den Sauerstoff derselben, bei dem Platin fällt eine vorherrschende Einwirkung auf den einen oder andern Bestandtheil nicht in demselben Grade auf. Das Resultat der wechselseitigen electrischen Erregung einer Flüssigkeit und eines eingesenkten einfachen Stoffes hängt wesentlich von der Art der chemischen Beziehungen des letzteren zu den verschiedenen Bestandtheilen der ersteren ab, und kann daher mit den für die Spannungsreihe geltenden Gesetzen nicht übereinstimmen. Das Zink z. B., eben weil es den Sauerstoff vorzugsweise anzieht, trachtet die Atome des Wassers in dem Sinne *HOZ* zu ordnen; mit dem in Nr. 355. S. 273 beschriebenen Condensator geprüft, erscheint es daher beim Contakte mit Wasser negativ electrisch, das Wasser positiv. Hieraus ist aber nicht zu schliessen, dass Platin, welches schon durch die Berührung mit Zink negativ wird, es nun durch die Berührung mit Wasser in noch höherem Grade werden müsse, weil wegen seiner ungleich weniger ausgeprägten Verwandtschaften nicht anzunehmen ist, dass es eine Lagerung der kleinsten Theilchen ähnlich der vorher angedeuteten, in gleichem Maasse zu entwickeln vermöge.

Taucht man zwei Metalle zusammen ein und verbindet sie zur Kette, so wirkt ihre wechselseitige electrische Erregung bald fördernd, bald hemmend auf ihre natürlichen Beziehungen zu den Bestandtheilen der Flüssigkeit. Immer aber wird das eine Element der letzteren vorzugsweise von der einen Seite, das andere vorzugsweise von der andern Seite angezogen werden müssen; d. h. ein Bestreben bleibt vorwaltend, die ungleichartigen Atome in einem gewissen Sinne zu lagern, z. B. in der Platin-Zink-Wasserkette, in der Ordnung: Platin, Wasserstoff, Sauerstoff, Zink, Platin. In dem Maasse als eine solche Ordnung sich entwickeln lässt, stellt sich das gestörte Gleichgewicht wieder her, die Bewegung hört auf.

Beispiel: Man stelle ein Plattenpaar, Platin und amalgamirtes Zink, in chemisch reinem Wasser und unter Abschluss der Luft einander gegenüber; man schliesse die Kette durch den Multiplicatordraht. Der hierdurch gebildete Strom nimmt bald ab, so dass nach einiger Zeit nur noch eine Spur desselben zurückbleibt. Das Zink (weil es sich mit einer Sauerstoffhülle umgeben hat) verhält sich dann gegen anderes noch ungebrauchtes Zink wie ein electronegativeres Metall; das Platin zeigt das umgekehrte Verhalten. Befindet sich die geschlossne Kette in einem luftleeren Raume, so bemerkt man von Zeit zu Zeit das Aufsteigen eines Gasbläschens von dem Platinstreifen; an dem Zinke kommen nach längerer Zeit Spuren von weissem Zinkoxyd zum Vorschein. Es geht also eine, zwar äusserst langsame aber fortdauernde Wasserzersetzung vor sich. In gewöhnlichem Wasser, oder in verdünnter Säure verbindet sich das Zink schneller mit dem gegen seine Oberfläche gerichteten Sauerstoff; die Richtung, nach welcher die von den Metallplatten ausgehende Anziehung die Elemente der Flüssigkeit zu ordnen strebt, wird daher in dem Maasse, als sie sich entwickelt, immer wieder unterbrochen. Die Folge ist: ein verstärkter Strom.

Die Fortdauer des galvanisch electrischen Stromes ist also nicht nur an das Vorhandenseyn einer electromotorischen Kraft, der eigentlichen Triebfeder desselben, sondern wesentlich auch an die electrochemische Zersetzung geknüpft, weil ohne diese die einfachen Elemente der Kette sich allmählig nach einer durch ihre wechselseitige Anziehung bedingten Ordnung an einander reihen müssen, wodurch eine der anfangs vorhandnen electromotorischen Thätigkeit an Grösse gleiche, in der Richtung aber entgegengesetzte Kraft gebildet wird.

Gelingt es, den in Folge der Electrolyse an der Platinfläche ausgesonderten Wasserstoff und im allgemeinen den electropositiven Bestandtheil der Flüssigkeit, in demselben Verhältnisse als er sich absetzt, ebenfalls sogleich wieder zu entfernen, so muss die ursprüngliche electromotorische Kraft ihre anfängliche Stärke ungeschwächt beibehalten, und eben so unverändert erhält sich die Stromstärke.

Man nähert sich dieser Bedingung durch Zusatz einer oxydirenden Substanz zu der Flüssigkeit, z. B. durch Beimischung von Salpetersäure oder durch wiederholtes Benetzen der Platinplatte mit dieser Säure.

Vollständiger erreicht man diesen Zweck durch Anwendung von zwei passend gewählten, durch eine poröse Scheidewand getrennten Flüssigkeiten. Unter vielen im Allgemeinen brauchbaren Zusammenstellungen, werden bis jetzt drei vorzugsweise angewendet, weil sie sich erfahrungsmässig als die ausgiebigsten oder bequemsten zum Gebrauche ausgewiesen haben. Man nennt

sie nach den Namen ihrer Erfinder: die Daniell'sche, Grove'sche und Bunsen'sche Kette.

390. Die Daniell'sche oder constante Kupferkette. Die Figur 156 gibt einen Durchschnitt von zwei Elementen oder Gliedern dieses electromotorischen Apparates. Bestandtheile eines einzelnen Gliedes sind: ein cylindrisches Glasgefäss, welches eine gesättigte Auflösung von Kupfervitriol enthält; hineintaucht eine cylindrisch gebogene, blank gescheuerte Kupferplatte; sie umschliesst eine ebenfalls in die Kupferlösung eingesenkte, poröse, mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle, in welche wieder eine cylindrisch gebogene, amalgamirte Zinkplatte eingetaucht ist. Ein an der letzteren angelötheter Kupferstreifen *b* wird mit einem ähnlichen von dem Kupfercylinder des zweiten Gliedes hervorstehenden Streifen *a'*, oder nach Befinden mit dem Kupfer des ersten Elementes selbst unmittelbar metallisch verbunden. Während die Kette

Fig. 156.

einfach oder mehrgliedrig geschlossen ist, löst sich das Zink auf Kosten der Schwefelsäure; der hierdurch frei werdende Wasserstoff verbindet sich mit einer proportionalen Menge Schwefelsäure des Kupfervitriols und metallisches Kupfer scheidet sich an der Kupferplatte ab. Beide Metalloberflächen so wie die Flüssigkeiten erhalten also ihre anfängliche Beschaffenheit wesentlich unverändert und der circulirende Strom bleibt constant. Um den Ursprungszustand auch hinsichtlich der chemischen Beschaffenheit der Flüssigkeiten möglichst dauernd zu erhalten, bringt man von Zeit zu Zeit Stücke von ungelöstem Kupfervitriol in das Glasgefäss, oder setzt gleich von Anfang einen beträchtlichen Ueberschuss davon zu, der sich dann allmählig auflöst, nach Maassgabe als Kupfer metallisch ausgeschieden wird. Die dauernde Stärke des Stroms wird auch noch dadurch begünstigt, dass die von dem Kupfervitriol freigewordene Schwefelsäure durch Endosmose in die Thonzelle hinüber gezogen wird, während Kupfer- und Zinklösung durch die poröse Wand weit weniger schnell zu einander übertreten.

391. Die Grove'sche oder constante Platinkette, unterscheidet sich in der Durchschnittszeichnung nicht wesentlich von der vorhergehenden. Statt der Kupferlösung enthält das Glas Salpetersäure, je concentrirter desto besser, statt des Kupfers, Platin. Der obere Rand der Platinplatte ist an einem Kupferringe angelö-

thet, welcher mittelst drei eingelötheter Stifte auf dem Rand des Glases ruht. Alles übrige wie vorher. Der durch Auflösung des Zinks freigewordene Wasserstoff oxydirt sich sogleich wieder auf Unkosten der Salpetersäure, wodurch die Platinplatte im ursprünglichen Zustande erhalten wird, so lange noch Salpetersäure in hinlänglicher Menge vorhanden ist.

392. Die Bunsen'sche oder constante Kohlenkette unterscheidet sich von der Grove'schen nur dadurch, dass statt des Platins ein hohler Kohlencylinder in die Salpetersäure eingesenkt wird. Diese Cylinder (Fig. 157) erhält man aus einem fein gepulverten Gemenge von völlig ausgeglühten Coaks mit möglichst backenden Steinkohlen, die in Formen von Eisenblech bei mässigem Kohlenfeuer zusammengeschmolzen und geglüht werden. Die so erhaltene sehr poröse Masse wird mit concentrirter Zuckerlösung getränkt, getrocknet und bis zum starken Weissglühen erhitzt, wodurch sie eine grosse Festigkeit und electrische Leitfähigkeit gewinnt. Die genauere cylindrische Form ertheilt man ihr auf der Drehbank. Der obere Rand des Kohlencylinders, so weit er über das Glas hervorragt (etwa 1 Zoll hoch) wird in Wachs getränkt, wodurch, ohne die Leitfähigkeit bemerkbar zu schwächen, das Eindringen der Salpetersäure bis an diesen Theil der Kohle gehindert wird. Näheres über die Zubereitung dieses Materials findet man in Pogg. Ann. B. 55. 265. Während des Gebrauchs umschliesst den oberen Rand des Cylinders ein Kupferring, dessen Innenfläche durch Anziehen der Schraube *s* so stark wider die Kohle gedrückt wird, als erforderlich, um der Electricität eine genügende Anzahl Uebergangspuncte zu bieten.

Fig. 157.

393. Die drei beschriebenen electrischen Ketten haben jede ihre eigenthümlichen Vorzüge, sie unterscheiden sich von allen früher bekannten Formen der Volta'schen Säule nicht nur durch ihre ungleich grössere Wirksamkeit, sondern dadurch hauptsächlich, dass sie diese Wirksamkeit mehrere Stunden und in so fern nur schwache Ströme erfordert werden, selbst mehrere Tage hindurch mit fast unveränderlicher Stärke beibehalten können; sie machen dadurch alle früher bekannten hydroelectrischen Combinationen ganz überflüssig. Die Grove'sche und Bunsen'sche Kette zeigen unter Voraussetzung gleicher Dimensionen eine fast gleich grosse Wirksamkeit; diejenige der Daniell'schen Kette ist unter derselben Voraussetzung beträchtlich geringer. Dagegen empfiehlt sich die Kupferkette durch ihre völlige Geruchlosigkeit während des Gebrauchs sehr vortheilhaft vor den beiden andern, welche, nachdem sie einige Zeit im Gange waren, salpetrige Säure in grosser Menge aushauchen. Da sich diese Säure aus der porösen Kohle nicht leicht entfernen lässt, so erfordert die Aufbewahrung nach dem

Gebrauche ein besonderes von anderen physikalischen Apparaten getrenntes Local*). Uebrigens eignet sich die Kohlenkette durch ihre grosse Wirksamkeit bei geringem Geldwerthe vorzugsweise zu grösseren galvanischen Batterien.

Neuerdings hat Wheatstone (Pogg. Ann. B. 62. 511.) eine Abänderung der Daniell'schen Kette empfohlen. Er lässt nämlich die verdünnte Schwefelsäure ganz weg und füllt die poröse Porzellanzelle mit flüssigem Zinkamalgam, in welches das Kupferende des nächstfolgenden Elementes eintaucht. Diese Kette, mit einem langen Multiplicatordrahte, im Allgemeinen nach Einschaltung grosser Leitungswiderstände, geprüft, zeigt sich sehr constant; sie ist aber unbrauchbar zur Hervorbringung starker und zugleich constanter Ströme.

Die Erfindung der constanten electrischen Kette muss man Becquerel zuschreiben, weil es ihm zuerst gelungen ist, durch Anwendung von zwei durch eine poröse Wand getrennten Flüssigkeiten die Polarisation der eingetauchten Metallplatten zu vermeiden. Bei einer von ihm beschriebenen Kette befanden sich Salpetersäure und Aetzkali in zweien durch porösen Thon getrennten Zellen; in jede dieser Flüssigkeiten tauchte ein Platinstreifen, die beide je nach Erforderniss durch den Multiplicatordraht oder anderweitig verbunden wurden. Die Triebkraft dieses galvanischen Apparates ist zusammengesetzt aus der Summe der electromotorischen Thätigkeiten an den Uebergangsflächen: des Platins zum Kali, des Kalis zur Säure, der Säure zum Platin, welche sämmtlich in gleichem Sinne wirksam sind. Diese Kette zeigt das Charakteristische, dass sich an dem ins Kali eingetauchten Platin Sauerstoff entwickelt, während der davon abgeschiedene Wasserstoff auf Kosten der Salpetersäure sogleich wieder oxydirt wird; sie bildet also gleichsam das Umgekehrte der Platin-Zink-Säure-Kette, in welcher sich der Wasserstoff des zersetzten Wassers gasförmig entwickelt, dagegen der Sauerstoff durch Oxydation des Zinks weggeschafft wird. Wie nun hier durch den Wasserstoff, so wird bei der Becquerel'schen Kette durch den Sauerstoff eine Polarisation, und folglich eine Abnahme der Stromkraft herbeigeführt. — Die Verbindung beider Systeme, nämlich Vertauschung des in das Kali eingesenkten Platins mit Zink lag nahe, und so kam man zu einem Apparate bei welchem die Polarisation ganz wegfiel.

Man hat lange Zeit gestritten, ob in galvanischen Ketten, gebildet aus einem Metalle und zwei Flüssigkeiten, der Sitz der electrischen Kraft an der Berührungsfläche beider Flüssigkeiten

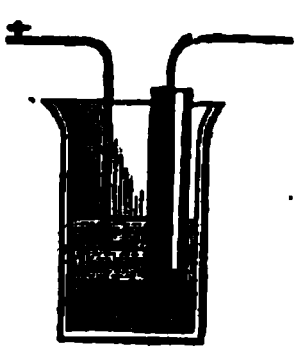
---

*) Wer ein Bunsen'sches Element nicht ununterbrochen anwendet, thut am besten, den Kupferring nach dem Gebrauche jedesmal von dem Kohlencylinder zu lösen, letzteren aber bis zur völligen Ausziehung der Säure in einen Kübel mit Wasser zu setzen.

oder nicht vielmehr an denjenigen des Metalls mit den flüssigen Körpern zu suchen sey. Gegenwärtig ist es ausser Zweifel gestellt, dass, ganz so wie schon Volta behauptet hat, die Anregung zu einem electrischen Strome an den Berührungspuncten zweier beliebigen ungleichartigen, jedoch die Electricität leitenden Körpern entsteht, mögen nun beide fest oder beide flüssig, oder nur der eine fest, der andere flüssig seyn. Durch Combination von drei Flüssigkeiten, indem man z. B. Filz- oder Pappscheiben damit befeuchtet, lassen sich sogar mehrfach zusammengesetzte Ketten bilden, deren Kraft ähnlich derjenigen der Volta'schen Säule mit der Anzahl der Paare zunimmt und mit Hülfe des gewöhnlichen Condensators gemessen werden kann. (Ann. d. Ch. u. Pharm. 35. 1.) Wie man das Daseyn einer electrischen Thätigkeit bei Berührung eines festen mit einem flüssigen Körper unabhängig von jedem fremden Einflusse prüfen könne, ist schon früher (355) gezeigt worden.

394. Die constanten electrischen Ketten bieten das wirksamste Hülfsmittel zur Hervorbringung electrochemischer Zersetzungen. Zur Wasserzersetzung in verdünnter Schwefelsäure genügt schon eine Kette gebildet aus drei Platin- oder aus drei Kohlenelementen. Um mit einer constanten Kupferkette eben so weit zu reichen, muss sie wenigstens aus sechs Gliedern bestehen. Aetzendes Kali oder Natron, geschmolzen oder im Zustande sehr concentrirter Lösungen, zersetzen sich gleichzeitig mit ihrem Wassergehalte unter der Einwirkung einer Batterie von 8 — 12 Kohlenelementen. Das gebildete alkalische Metall verbrennt aber gewöhnlich gleich wieder, so dass es schwierig ist, auch nur kleine Mengen davon aufzusammeln. Weit leichter lässt es sich im Zustande als Amalgam gewinnen. Man giesst zu dem Ende Quecksilber auf den Boden eines Glases, so dass die untere Mündung eines darin stehenden offnen Glasrohrs (Fig. 158) wenigstens einige Linien hoch damit überdeckt ist, und darüber die concentrirte alkalische Lösung. Ein von dem negativen Pol ausgehender Platindraht wird durch das Rohr in das Quecksilber eingeführt, und ein ähnlicher Ausläufer des positiven Pols der Batterie mit der Oberfläche der Lösung in Berührung gesetzt. Die Zersetzung geht sogleich vor sich, wodurch das Kalium von dem Quecksilber unter beträchtlicher Erhöhung der Temperatur aufgenommen wird und damit eine beim Erkalten erstarrende Masse bildet.

Fig. 158.



In den wässrigen Lösungen der Alkalien und alkalischen Salze, wenn man sie in die Zersetzungszelle bringt, findet zwar eine ähnliche Zerlegung statt, nämlich Sauerstoff oder ein anderes einfaches oder zusammengesetztes Radical wird an dem positiven Pole, das alkalische Metall an dem negativen Pole ausgeschieden;

allein wegen der Leichtigkeit, womit sich diese Metalle auf Kosten des Wassers oxydiren, tritt die Zersetzung desselben sogleich ein, dergestalt dass Sauerstoff und Wasserstoff entbunden wird und es zugleich den Anschein hat, als ob das Salz in Säure und Alkali wäre zerlegt worden.

Diejenigen Metalle, deren Verwandtschaft zu dem Sauerstoff des Wassers weniger mächtig ist, wie Zink, Blei, Kupfer, Silber und andere mehr, werden aus ihren Lösungen regulinisch ausgefüllt. Wenn diese Ausscheidung nicht zu rasch und ohne gleichzeitige Wasserstoffentwicklung vor sich geht, so überzieht sich die negative Polplatte mit einer ganz gleichförmigen, zusammenhängenden Decke des ausgefällten Metalls.

395. Die Galvanoplastik ist eine eben so bemerkenswerthe als nützliche Anwendung dieser Erfahrung. Man versteht unter Galvanoplastik ein von Jacobi in Petersburg und, wie es scheint, gleichzeitig auch von Spencer in Liverpool entdecktes Verfahren: Gegenstände von beliebiger Gestalt, auf galvanischem Wege in Kupfer abzudrücken. Dieses Verfahren in seiner einfachsten Form ist eine unmittelbare Anwendung der Daniell'schen Kette, in welcher die Kupferplatte durch den Gegenstand ersetzt wird, von welchem man einen Abdruck zu erhalten wünscht, und dessen Oberfläche, so weit sie sich mit Kupfer bedecken soll, leitend seyn muss. Der Gegenstand in der Lösung des Kupfervitriols ganz untergetaucht, ist vermittelst eines Kupferdrahts mit dem amalgamirten Zink in der porösen Zelle verbunden. Die Flüssigkeit in der lezteren besteht aus Wasser mit Zusatz von wenigen Tropfen Schwefelsäure. Es geht eine langsame Zersetzung vor sich, wobei sich der eingetauchte Gegenstand, so weit seine Oberfläche leitend ist, mit Kupfer beschlägt. Ist die Kupferdecke dick und fest genug geworden, so dass sie sich ohne den Zusammenhang zu verlieren von dem Körper ablösen lässt, so zeigt sie sich als ein sehr genauer Abdruck von der Gestalt desselben. Dieser Versuch gelingt jedoch nur unter der Einwirkung eines schwachen Stromes, und wenn die Kupferlösung durch Zusatz von Kupfervitriolkrystallen fortwährend gesättigt erhalten wird. Bei zu rasch fortschreitender Zersetzung zeigt sich der Kupferniederschlag körnig und ohne Zusammenhang. — Eine Abänderung dieses ursprünglichen Verfahrens, von dem Entdecker selbst empfohlen, verbindet mit grösserer Bequemlichkeit eine grössere Sicherheit des Gelingens. In einem Glasgefässe *A* Fig. 159 befindet sich die Kupferlösung mit etwas Schwefelsäure gemischt. Der abzubildenden Form *f*, welche in diese Flüssigkeit taucht, steht eine Kupferplatte *k* gegenüber; beide

Fig. 159.

durch gefirnisste Kupferdrähte mit den Endpuncten eines Daniell'schen Elementes verbunden, und zwar *f* mit dem negativen, *k* mit dem positiven Pole. Bei dieser Anordnung nun reducirt sich Kupfer auf der leitenden Oberfläche der Form, während ein entsprechender Theil des Kupfers der Platte oxydirt und aufgelöst wird. Die Lösung bleibt also stets in demselben Zustande der Sättigung.

Gegenstände von Metall, die man auf galvanischem Wege nachzubilden wünscht, müssen vor dem Eintauchen in die Kupferlösung an den Stellen, welche frei von Kupfer bleiben sollen, mit Wachs bedeckt werden. Körper, die für sich nicht leitend sind, z. B. Wachs- oder Stearin-Abdrücke, werden dadurch leitend gemacht, dass man fein geschlemmten Graphit oder ein sehr feines Metallpulver trocken aufträgt und mittelst eines zarten Pinsels so lange einreibt, bis die ganze Oberfläche gleichförmig damit überdeckt erscheint. Gypsformen lassen sich auch brauchen, nur müssen sie, bevor man den Graphit darauf ausbreitet, mit Wachs getränkt werden. Es ist übrigens einleuchtend, dass jeder von einem Originalgegenstande unmittelbar erhaltene, wohlgelungene Kupferabdruck für eine neue Operation wieder als Form dienen kann und dass der auf diese Weise erhaltene zweite Abdruck in seiner ganzen Oberflächenbeschaffenheit dem Originale vollkommen gleichen muss. Um das Anhängen des galvanischen Kupfers an einer Metallplatte zu verhüten, wird letztere vor Anstellung des Versuchs mit Olivenöl eingerieben und dieses wiederum mit weichem Fliesspapier und Bürste entfernt.

Auf galvanischem Wege hat man nicht nur Siegelabdrücke, Denkmünzen, Holzschnitte, Figuren in halberhabener Arbeit und selbst ganze Gestalten nachgebildet, sondern es ist auch gelungen, gestochene Kupferplatten so treu wiederzugeben, dass die davon erhaltenen Abdrücke von den von der Originalkupferplatte erhaltenen sich nicht unterscheiden liessen. Jetzt hat man auch angefangen grössere in Gyps ausgeführte Modelle auf galvanischem Wege in Kupfer abzuformen.

Ein empfehlenswerthes Schriftchen für Freunde dieses Verfahrens ist: die Galvanoplastik von Fardely.

An die Galvanoplastik reihen sich die in der neuesten Zeit mit dem besten Erfolge angewendeten Methoden, Metalle, insbesondere Kupfer und Messing, auf nassem Wege zu vergolden und zu versilbern, und im Allgemeinen ein Metall mit einem andern zu überziehen. (Zu vergl. Pogg. Ann. 55. 162.)

396. Die chemischen Wirkungen der Volta'schen Säule sind bald nach der Erfindung derselben, die im Jahre 1800 bekannt wurde, fast gleichzeitig von mehreren Physikern beobachtet worden. Sie sind seitdem unausgesetzt ein Gegenstand der emsigsten Studien geblieben. Die Zersetzung des Wassers wurde in England

zuerst von Carlisle, in Deutschland von Ritter bemerkt. Im Jahre 1807 gelang es H. Davy mit Hülfe kräftiger Säulen die Zerlegbarkeit der Alkalien zu beweisen. Die Batterie, welche er dazu gebrauchte, bestand aus 150—200 Zink-Kupferpaaren mit verdünnter Schwefelsäure geladen. Solche grosse Säulen, früherhin häufiger im Gebrauche, charakterisiren sich durch ihre kräftigen physiologischen Wirkungen. Zum Zwecke electrolytischer Untersuchungen stehen sie aber einer Bunsen'schen constanten Kette von 16—20 Paaren weit nach.

Es entspann sich unter den Naturforschern ein sehr lebhaft geführter Streit über die eigentliche Bedeutung des chemischen Processes in der geschlossenen Kette. Die Einen, an der Volta'schen Theorie (360) festhaltend, bemühten sich den Beweis zu führen, dass die chemischen, gleich den physiologischen Erscheinungen nur Wirkungen des Stromes seyen, Andere glaubten in der Oxydation des Zinks die wahre Quelle der galvanischen Electricität gefunden zu haben. Diese Ansicht, die Oxydationstheorie, ist am beharrlichsten und noch in der neuesten Zeit, wiewohl mit abnehmendem Glücke, von de la Rive vertheidigt worden.

Der Oxydationsprocess in der geschlossenen Kette ist immer von einer Zersetzung des flüssigen Leiters begleitet, und die Stärke des Stromes ist augenscheinlich an die Lebhaftigkeit dieser Zersetzung geknüpft. Hierdurch wurde Davy zu dem Gedanken gebracht, in dem Zersetzungsprocesse die Ursache der Fortdauer des Stromes zu suchen, während er übrigens mit Volta die Berührung, oder vielmehr ein Streben zur chemischen Verbindung, welches im Augenblicke der Berührung geweckt wird, als Ursache der electrischen Erregung und des Vertheilungszustandes betrachtet. Nur scheinbar abweichend von dieser Vorstellungsweise ist eine neuere von Faraday aufgestellte chemisch electrische Theorie. Sie geht von der Ansicht aus, dass electrische Anziehung und chemische Affinität im Grunde nur verschiedene Ausdrücke für dieselbe Sache seyen. Wirkt z. B. Zink zersetzend auf das Wasser, so kann man diess mit gleichem Rechte eine chemische Thätigkeit oder auch eine electrische Thätigkeit nennen; dabei wird der Sauerstoff angezogen; der Wasserstoff seinerseits wirkt vertheilend auf das benachbarte Element des Wassers und sofort ganz in der Weise, wie es dem Wesen der Electricität entspricht. So kann die von dem Zink ausgehende Wirksamkeit in bestimmter Richtung durch die Flüssigkeit fortgepflanzt und selbst auf feste damit in Berührung stehende Leiter übertragen werden. Nach dieser Hypothese erscheint also die beginnende Zersetzung einer flüssigen Verbindung als eine Quelle von Electricität. Der electrische Strom ist aber das Fortschreiten dieser Zersetzung nach einer bestimmten Richtung. Faraday erkennt übrigens an, dass das Zink auf die Flüssigkeit in welche es getaucht wird, noch vor der

Zersetzung eine gewisse Wirksamkeit äussere, welche nichts Anderes sey als das Streben, Zersetzung herbeizuführen, ohne dieselbe gerade immer zur nothwendigen Folge haben zu müssen. — Wollen wir nun dieses Streben auf seinen letzten Grund zurückführen, so ist es nichts Anderes als die Anziehung des Zinks zum Sauerstoffe des Wassers; oder wie sich einige Chemiker ausdrücken, ein polarer Zustand der Verwandtschaft. Eine sichtbare Aeusserung desselben bevor noch ein Fortschreiten der Zersetzung möglich geworden, ist der electrische Vertheilungszustand, ganz so wie er überhaupt bei der Berührung ungleichartiger Stoffe gefunden wird.

Die Faraday'sche Theorie consequent verfolgt, betrachtet also den electrischen Vertheilungszustand, die electrische Differenz, in der offnen Säule unabhängig von dem Acte der Zersetzung; sie identificirt aber diesen Zustand mit dem einer chemischen Polarität und sucht hierdurch begreiflich zu machen, dass ohne den Eintritt der chemischen Zersetzung kein Strom entstehen noch fortdauern kann. Sie ergänzt in so fern die Volta'sche Theorie, welche von dem Daseyn des electrischen Stromes gar keine Kenntniss nimmt.

397. Volta-Electrometer (Voltameter). Um das Gesetz der Abhängigkeit electrischer Ströme von der chemischen Zersetzung gründlich studiren zu können, bedurfte es eines geeigneten Maasses. Faraday (Pogg. Ann. 33. 316) benutzte hierzu die Wasserzersetzung, indem er zwei Platinplatten, an welchen sich der electrolytische Sauerstoff und Wasserstoff entwickeln sollte, unter graduirte Glasröhren brachte, so dass beide Gase vollständig, entweder zusammen oder getrennt aufgefangen und gemessen werden konnten. Die geeignete Geräthschaft erhielt den Namen Voltameter. Unter verschiedenen Einrichtungen, welche dem Voltameter gegeben werden können, erscheint die folgende durch Zweckmässigkeit und Bequemlichkeit besonders empfehlenswerth.

Fig. 160.

Die beiden Platinplatten befinden sich in dem zur Aufnahme der Zersetzungsflüssigkeit bestimmten Behälter einander gegenüber; sie sind an dicken Platindrähten angelöthet, die, so wie die Figur 160 zeigt, in Glasröhren von wenigstens 2 Linien innerer Weite eine kleine Strecke luftdicht eingekittet sind. Der übrige Theil der, wie man sieht, rechtwinklig aufwärts gebognen Röhren ist mit Quecksilber gefüllt und dadurch die leitende Verbindung nach Aussen bewerkstelligt. Zur Erhaltung eines festen Standes sind ausserdem beide Glasröhren mittelst Kupfer-

drähten mehrfach verbunden. In das Quecksilber des einen Rohrs wird das positive Ende, in das Quecksilber des andern Rohrs das negative Ende der Batterie eingesenkt und dadurch die Kette geschlossen. Sollen die sich entwickelnden Gase in dem Messgefässe gemengt aufgefangen werden, so braucht der Abstand der Platten nur wenige Linien zu betragen. Um aber beide Gase getrennt auffangen zu können, müssen die Platten weit genug von einander abstehen, um über jede ein besonderes Messrohr setzen zu können. Bei der letzteren Anordnug hat der electrische Strom einen vergrösserten Weg durch die Flüssigkeit zurückzulegen; der Leitungswiderstand vermehrt sich daher. Die hierdurch bewirkte Verminderung der Wasserzersetzung ist gleichwohl, vorausgesetzt dass der untere Rand eines jeden Messrohrs wenigstens um die Hälfte seines Durchmessers vom Gefässboden absteht, so bedeutend nicht als der erste Anschein könnte vermuthen lassen. Bei Anwendung einer Kohlenbatterie von 4 Elementen erhielt man z. B. Gasmengen im Verhältnisse von 1 : 1¼, je nachdem beide Gase getrennt oder zusammen aufgefangen wurden. Die Weite der Messröhren betrug 28 Mllmtr., die Länge der eingetauchten Platinplatten 75 mm, ihre Breite 27 mm. In Fällen wo eine möglichste Beseitigung dieses Verlustes wünschenswerth seyn sollte, kann man nach Poggendorff's Vorschlag die Platinstreifen mit Cylindern von porösem Thon umgeben, an deren oberem Rande dann die Messröhren angeschlossen werden.

Als Zersetzungsflüssigkeit wählt man am besten reine Schwefelsäure von 1,3 spec. Gewichte; weil bei diesem Concentrationsgrade der Säure eine Umfangsvermehrung der aufgesammelten Gase durch Beimengung von Wasserdämpfen, bei keiner der gewöhnlich vorkommenden Temperaturen zu befürchten ist. Auch ist man bei einem grösseren Wassergehalte des Säuregemisches weniger sicher, allen durch die Electrolyse frei gewordenen Wasserstoff zu gewinnen. Ein Verlust an Wasserstoff kann auch durch Beimengung oxydirender Substanzen, z. B. von Salpetersäure oder deren Salzen, herbeigeführt werden. Befinden sich Chlorverbindungen in der Flüssigkeit aufgelöst, so nehmen diese an der Zersetzung Theil und man bemerkt eine Abnahme der Sauerstoffentwicklung. Alkalien und alkalische Salze der Electrolyse unterworfen, liefern Sauerstoff und Wasserstoff gleich wie die Schwefelsäure im Verhältnisse von 1 : 2, ihre Auflösungen können desshalb ebenfalls als voltametrische Flüssigkeiten benutzt werden; doch leiten sie die Electricität weniger gut als die Säure.

Die Figur 161 zeigt einen electrischen Gasentbindungsapparat, zu welchem ätzendes Kali (1 Theil trocknes Kali mit 9 Theilen Wasser) mit Vortheil verwendet werden kann, wenn man als Zersetzungsplatten möglichst grosse Stücke Eisenblech wählt. Das Eisen hat nämlich die Eigenschaft in ätzender Lauge vom Sauerstoff

Fig. 161.

fast gar nicht angegriffen zu werden, so dass man bei dieser Anordnung wie mit Platinplatten beide Gase zugleich erhält.

Zum Zwecke feinerer Maassbestimmungen ist jedoch Eisen in Aetzkali nicht brauchbar, indem dabei nicht nur Sauerstoff, sondern auch Wasserstoff in sehr veränderlicher Menge (je nachdem sich das Eisen vor dem Gebrauche mehr oder weniger mit Oxyd bedeckt hatte) verloren wird.

398. Der Strom-Regulator (Rheostat, Voltagometer). Wenn man den electrischen Strom zugleich durch die Flüssigkeit eines Voltameters und den Draht eines Galvanometers gehen lässt, bemerkt man gewöhnlich, dass die Nadel des letzteren ihre anfänglich erhaltene feste Stellung auf die Dauer selbst dann nicht unveränderlich beibehält, wenn die bewegte Electricität einer constanten Batterie entspringt. Mit Hülfe des Strom-Regulators, einer von Wheatstone ersonnenen Geräthschaft, gelingt es diese Unregelmässigkeit auszugleichen, d. h. einen lange Zeit anhaltenden Zersetzungs-Strom von vollkommener Beständigkeit zu schaffen. Es ist hierdurch möglich geworden, die magnetische mit der zersetzenden Kraft der Electricität aufs genaueste zu vergleichen.

Figur 162 gibt die Ansicht eines für die Feststellung starker

Fig. 162.

electrischer Ströme berechneten Regulators. Zwei Rollen von festem Holze, jede ¾ Metre im Umfang haltend, sind um lothrecht stehende Axen drehbar. In die Cylinderfläche der Rolle *b* sind Schraubenwindungen eingeschnitten, weit genug um einen Argentandraht von 1,5 Millimetre Dicke aufnehmen zu können, dessen Ende in einen den oberen Rand der Rolle umgebenden, 12 Millimetre hohen Messingring eingelassen ist. Das andere Ende dieses Drahtes hängt am unteren Rande der Rolle *a*, deren ganze Cylinderfläche mit Messingblech bedeckt und glatt ist. Vermittelst der federnden, 12 Millimetre breiten Kupferstreifen *n* und *m*, die gegen die Messingringe der Rollen gedrückt werden, und der Klemmschrauben *r* und *s* kann die Verbindung mit beiden Polen eines Electrometers hergestellt und dadurch die Kette geschlossen werden. Der Strom gelangt nun z. B. von der Messinghülle der Rolle *a* unmittelbar zu dem Drahtstücke, welches zu der andern Rolle überführt, muss dann alle auf *b* bereits aufgewickelten Drahtwindungen durchdringen, weil diese seitwärts in keiner leitenden Verbindung stehen, und kommt so endlich zu dem Messingringe der Rolle *b* und der Feder *m*. Der Weg den er zu beschreiben, der Widerstand den er zu überwinden hat, vermehrt sich daher oder vermindert sich, je nachdem man Draht auf der Rolle *b* aufwickelt oder davon abwickelt. Man hat es also ganz in der Gewalt, durch Einschaltung verhältnissmässiger Drahtlängen die Stromstärke beliebig zu verändern oder auch eine etwaige Veränderlichkeit der Triebkraft so zu reguliren, dass eine bestimmte Stärke des Stromes festgehalten wird. Argentandraht empfiehlt sich zu dieser Geräthschaft desshalb vorzugsweise, weil er als sehr schlechter Leiter ein sehr wirksames Hülfsmittel bietet, die Grösse des Leitungswiderstandes einer Kette schnell zu verändern. Die übrigen Bestandtheile des Regulators (ausser dem Argentandraht) sind sämmtlich in solchen Dimensionen gewählt, dass sie für sich keinen bemerkbaren Leitungswiderstand verursachen. Der Umfang der Schraubenrolle ist in 100 gleiche Theile getheilt, so dass man mittelst des festen Zeigers bei *b* leicht entdeckt, wie viele Unterabtheilungen einer Drahtwindung zugesetzt oder weggenommen sind. Die Anzahl ganzer Umwindungen zählt man an dem Maassstab *c*.

399. Die electrolytischen Gesetze. Durch die genaue Vergleichung der auf galvanischem Wege bewirkten Wasserzersetzung mit der unter dem Einflusse desselben Stromes erhaltenen Ablenkung der Galvanometer-Nadel hat man erkannt: dass die chemische Wirksamkeit der Kette gleichen Schritt hält mit ihrer magnetischen Wirksamkeit. War z. B. das dem Strom eingeschaltete Galvanometer eine Tangentenbussole, so findet man, dass die Tangente des Ablenkungswinkels multiplicirt mit der Wirkungszeit einen Werth gibt, der sich verhält wie die Menge des in derselben Zeit im Zersetzungsapparate entwickelten Gases.

War also die magnetische mit der chemischen Kraft des Stromes nur ein einzigesmal recht genau verglichen worden, so gibt für eine beliebige andere beständig erhaltene Ablenkung φ der Ausdruck $a.\ t.\ \text{tng}\ \varphi$ ein genaues Maass der Gasmenge, welche bei dieser Stromkraft während der Zeit t geliefert werden kann. Die Grösse a, nämlich die in der Zeiteinheit und unter dem Einflusse der Kraft 1 ($1 = \text{tng}\ 45^0$) gesammelte Gasmenge, ändert sich mit dem galvanometrischen Instrumente, das bei den Versuchen benutzt wird. Sie muss für ein jedes besonders ermittelt werden. Z. B. bei der in N. 370 beschriebenen Tangentenbussole, deren Reif 401,3 metre im Durchmesser hält, entspricht die Ablenkung von 45^0, einer Wasserstoffmenge von 42,16 C. C. (bei 0^0 und 336,9‴ Pressung) in der Minute. Es ist demnach auf die Sekunde berechnet: $a = 0{,}7027$, also für dieses Instrument die einer Ablenkung φ gleichwerthige Wasserstoffmenge: $V = 0{,}7027\ t.\ \text{tng}\ \varphi$.

Das Voltameter bietet auf diese Weise ein Hülfsmittel, die Anzeigen verschiedener Galvanometer unter einander zu vergleichen und auf ein gemeinschaftliches Grundmaass zurückzuführen. Als ein solches Grundmaass könnte diejenige Electricitätsmenge gelten, die erfordert wird, um ein Volum Wasserstoff zu entbinden, oder um die Gewichtseinheit Wasser zu zersetzen, oder endlich auch um das chemische Aequivalent des Wassers, nämlich 1,1248 Grm, in seine Bestandtheile zu zerlegen.

Will man die zuletzt genannte Grundlage beibehalten und berücksichtigt man, dass die Menge Wasserstoffgas, die bei 0^0 und 336,9‴ Pressung aus 1,1248 Grm Wasser erzielt werden kann, beträgt: $V = \frac{1{,}1248\ .\ 1000}{9\ .\ 0{,}08938} = 1396{,}25$ C. C., so gelangt man für die Tangentenbussole im Allgemeinen zu der Gleichung: $1396{,}25 = a\,t\,\text{tng}\,\varphi$; woraus sich z. B. für das vorhererwähnte besondere Instrument ableiten lässt: $t = \frac{10000}{5{,}0255\ \text{tng}\ \varphi}$, als Zeit während deren Verlauf bei einer gewissen Ablenkung φ ein Aequivalent Wasser zersetzt wird, oder ein Aequivalent Electricität (das angenommene Grundmaass) durch jeden Querschnitt des Leiters strömt.

Bei irgend einem andern Galvanometer, dessen Anzeigen ebenfalls unter einander vergleichbar sind, wird derselben Zeit t vielleicht ein anderer Ablenkungsbogen φ' entsprechen; es ist dann einleuchtend, dass die Ablenkung φ des einen und die Ablenkung φ' des anderen Instrumentes einerlei Stromstärke anzeigen. Man ist also jetzt im Stande, die Angaben des einen auf die des andern zurückzuführen und zwar ganz unabhängig vom Orte und von der Zeit der Beobachtung.

Hat man die Vergleichung eines Galvanometers mit dem Volta-

meter einmal mit aller Sorgfalt ausgeführt, so ist der Gebrauch des ersteren, um die zersetzende Kraft einer electrischen Kette zu messen, bei wenigstens gleicher Sicherheit ungleich bequemer als der des letzteren und daher in den meisten Fällen vorzuziehen. Das Umgekehrte, nämlich die Beurtheilung der magnetischen Kraft eines Stroms aus der Wasserzersetzung, ist nur selten ausführbar, weil bei schwachen Strömen die Gasentbindung nicht ausgiebig genug ist und weil durch Einschaltung des Voltameters die vorher vorhandene Stromstärke allemal vermindert wird.

Nur bei unbeständigen Strömen bleibt die Wasserzersetzung das einzige sichere Mittel, um die innerhalb einer gewissen Zeit in Bewegung gesetzte Electricität ihrer Gesammtmenge nach kennen zu lernen.

400. Die Menge zersetzten Wassers zeigt sich ganz gleich, an welcher Stelle einer constanten Kette man das Voltameter eingeschaltet haben mag. Nöthigt man den Strom durch die Flüssigkeiten mehrerer Voltameter zu wandern, mögen diese nun unmittelbar oder in Zwischenräumen auf einander folgen, so wird zwar im Allgemeinen durch jeden neu hinzugefügten Zersetzungsapparat die Quantität der in jedem einzelnen stattfindenden Zersetzung vermindert. Tritt aber überhaupt noch eine bemerkbare Gasentbindung ein, so ist sie gleich gross in allen Messröhren. Dieses Gesetz bleibt wahr, ob die Zersetzungsstellen gleiche oder verschiedene Oberflächen bieten, ob es nur Drähte oder ob es Platten, ob die letzteren eben oder gebogen sind, ob sie parallel oder nicht parallel einander gegenüberstehen, ob sie die Richtung des Stroms winkelrecht oder schief durchschneiden, ob endlich die zwischen beiden Flächen befindliche flüssige Schicht eine grössere oder eine geringere Dicke besitzt. Die zersetzende Kraft des Stroms hat also auch das mit seiner magnetischen Kraft gemein, dass sie in einem jeden durch die Kette geführten Querschnitte eine gleiche Grösse besitzt. Man kann das Voltameter sehr leicht in einen selbstständig wirksamen electrischen Apparat, d. h. in eine Erzeugungszelle oder in einen Electromotor verwandeln, wenn man die eine seiner Platinplatten mit einer amalgamirten Zinkplatte vertauscht. Füllt man mehrere solcher Apparate mit derselben Flüssigkeit, z. B. mit verdünnter Schwefelsäure, so werden sie, jeder für sich geschlossen, je nach der Grösse und dem Abstande der Platten ungleiche Mengen von Wasserstoff an den Platinplatten entbinden. Verbindet man sie aber zu einer mehrgliedrigen Kette, so verschwinden diese Ungleichheiten und jede Zelle liefert gleich viel Gas. Wird eine für sich unwirksame Zelle, ein Voltameter, in die so gebildete Batterie eingeschlossen, so entwickelt sich darin, so lange die Kette geschlossen bleibt, eben so viel Gas wie in jeder andern Zelle.

401. Hat man die verschiedenen Zellen einer Batterie, sey sie

constant oder inconstant mit ein und derselben oder auch mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt, jedoch sämmtlich von der Beschaffenheit, dass während des Ruhezustandes die Zinkplatten nicht angegriffen werden können, z. B. mit verdünnter Schwefelsäure (100 Grm Wasser auf 2,25 concentrirte Säure) oder mit schwefelsaurem Kali, oder wenn es eine constante Batterie ist, am besten mit schwefelsaurem Zink, so verliert während des Gebrauchs jede Zinkplatte genau gleich viel von ihrem Gewichte und dieser Zinkverbrauch in jeder Zelle ist chemisch-proportional (ein Aequivalent) dem in dem Voltameter in gleicher Zeit entwickelten Wasserstoffe.

Wird der electrische Strom durch das Voltameter und zugleich noch durch eine andere Zersetzungszelle geführt, die eine concentrirte Metallauflösung enthält; z. B. Zinkvitriol, oder Chlorzink, oder schwefelsaures Kupfer, oder salpetersaures Silber u. s. w., so entsteht an der electronegativen Seite der Zelle ein Niederschlag dieses Metalls. Vorausgesetzt nun, dass die gewählte Auflösung rein war und dass mit der Metallausfällung nicht zugleich Wasserzersetzung eintrat, so verhält sich die Gewichtsmenge des ausgeschiedenen Metalls zur Gewichtsmenge des im Voltameter entbundenen Wasserstoffs, wie das chemische Aequivalent des einen zu dem des andern dieser Stoffe. Hatte sich aber an der Zersetzungsstelle eines dieser Metalle zugleich Wasserstoff entwickelt und war derselbe aufgefangen und gemessen worden, so findet man, dass die gleichzeitig ausgefällte Metallmenge dem Unterschiede der im Voltameter und in der andern Zersetzungszelle entbundenen Wasserstoffmenge äquivalent ist. Wasserfreie Verbindungen im geschmolzenen Zustande, wie Chlorzinn, Chlorblei oder salpetersaures Silber in den Kreislauf des Stroms gebracht, werden gerade so wie wässrige Lösungen und nach demselben quantitativen Verhältnisse zerlegt. Im Allgemeinen also wird diejenige Electricitätsmenge, welche die Electrolyse von 1 Aequivalent Wasser zu bewirken vermag, in jeder andern binär zusammengesetzten flüssigen Verbindung welche sie durchdringen kann, gleichfalls ein Aequivalent derselben zersetzen; oder anders ausgedrückt: die durch ein und denselben electrischen Strom zerlegten Gewichtsmengen binärer Verbindungen (die electrochemischen Aequivalente) verhalten sich wie die chemischen Aequivalente.

Die allgemeine Gültigkeit dieses merkwürdigen zuerst von Faraday dargethanen Gesetzes liefert zugleich den kräftigsten Beweis, dass ein durch den Strom zersetzbarer Leiter nur so viel Electricität durchlassen kann, als dem Quantum seiner Zersetzung entspricht.

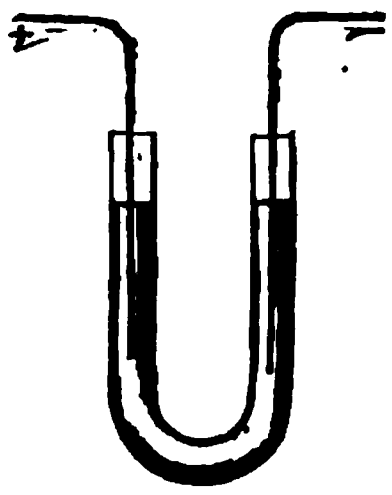
402. Der reine Effekt der electrochemischen Zersetzung kann,

je nach der besonderen Beschaffenheit der zersetzten Flüssigkeit und der in dieselbe eintauchenden Leiter, durch sekundäre Einflüsse leicht getrübt werden, so dass es öfters den Anschein hat, wie wenn die Quantität der Zersetzung der Menge verwendeter Electricität nicht äquivalent sey.

Enthält eine wässrige Lösung Verbindungen von analoger Zusammensetzung mit dem Wasser, Verbindungen electronegativer Radicale mit Wasserstoff oder Metallen; so wird je nach der Grösse der verwendbaren electromotorischen Kraft bald nur die am leichtesten zersetzbare, bald werden mehrere zugleich zerlegt. Die verwendete Electricität ist aber immer der Summe der stattgehabten Zersetzung äquivalent. Aus der Menge des aufgefangenen Wasserstoffs lässt sich daher in solchen Fällen kein sicherer Schluss ziehen auf die Menge der durchgegangenen Electricität. Befindet sich z. B. in den verschiedenen Gefässen einer Volta'schen Bechersäule verdünnte Schwefelsäure die, in den einen mehr in den andern weniger, bereits mit Zinkvitriol oder auch mit Spuren von Kupferlösung vermischt ist, so wird in denselben eine anscheinend ungleiche Zersetzung, nämlich eine ungleich starke Gasentwicklung eintreten. Nur alkalische Salze, deren Säuren nicht zugleich Oxydationsmittel sind, der Zersetzungsflüssigkeit beigemengt, lassen das Verhältniss des gebildeten Wasserstoffs zur Menge der in Bewegung gesetzten Electricität ganz ungestört. Man muss annehmen dass die alkalischen Metalle, wenn sie auch durch den Strom aus ihren Verbindungen ausgeschieden werden, sich doch auf Unkosten des vorhandenen Wassers sogleich wieder oxydiren.

Von dieser Vorstellung ausgehend, erklärt man sich leicht den folgenden Versuch: Man bringe in ein doppelschenkliges Rohr Fig. 163 eine neutrale Salzlösung, z. B. schwefelsaures Kali, das mit Veilchensyrup blau gefärbt ist, und tauche in die Flüssigkeit des einen Schenkels einen von dem positiven Pole der Batterie, in den andern Schenkel einen von dem negativen Pole ausgehenden Platindraht. Die Gasentwicklung wird alsbald vor sich gehen und nach kurzer Zeit wird man bemerken, dass die das positive Drahtende umgebende Flüssigkeit eine rothe, die das negative Drahtende umgebende Flüssigkeit eine grüne Farbe annimmt; zum Beweise, dass freie Säure und freies Kali entstanden ist. Das am negativen Pole ausgeschiedene Alkali und die am positiven Pole frei gewordene Säure lassen sich quantitativ ermittlen, wenn man den Zersetzungsapparat durch eine poröse Wand in zwei oder besser durch zwei poröse Wände in drei gesonderte Zellen abtheilt, die übrigens mit derselben Lösung eines Neutralsalzes

Fig. 163.



angefüllt werden; in die vorderste Zelle taucht man dann die positive Polplatte, in die hinterste die negative. Die Menge der auf der electropositiven Seite frei gewordenen Säure so wie das auf der negativen Seite frei gewordene Alkali lässt sich dann leicht bestimmen. Auf diese Weise hat Daniell gefunden, dass die Gewichtsmenge zersetzten Salzes ein Aequivalent ist des in derselben Zelle gleichzeitig frei gewordenen Wasserstoffs, dessen Volum wieder dem während derselben Zeit und durch denselben Strom in einem Voltameter entbundenen Wasserstoffe gleichkommt. Wollte man nun annehmen, dass die Gasentwicklung von einer electrischen Wasserzersetzung abstamme und dass derselbe Strom zugleich auch das Salz in Säure und Alkali zerlegt habe, so würde der Gesammtbetrag der Zersetzung noch einmal so viel betragen als sein Aequivalent an durchgegangener Electricität. Es ist daher keine andere Erklärungsweise zulässig, als die, dass beide Zersetzungen sekundärer Art waren, während die primäre darin bestanden hat, das Salz in Kalium und in das electronegative Radikal SO_4 zu zerlegen. Das electrolytische Gesetz enthält somit den bündigsten Beweis für die Richtigkeit der zuerst von Davy aufgestellten und von Liebig verallgemeinerten Theorie der Wasserstoffsäuren.

Eine andere Art sekundärer Erscheinungen, welche die Electrolyse begleiten, beruht auf dem hohen Grade von Verbindungsfähigkeit, den die durch den Strom getrennten Bestandtheile einer Verbindung im Augenblicke ihrer Abscheidung besitzen; einer Fähigkeit die verloren geht, sobald sie in den gewöhnlichen unelectrischen Zustand zurückgetreten sind. So gibt die electrische Zersetzung sehr häufig Gelegenheit zur Bildung von Hyperoxyden, Doppelsalzen und andern Verbindungen, bei welchen sich schwache Verwandtschaften geltend machen müssen und die auf die gewöhnlicheren Verfahrungsweisen des Chemikers oft nur schwer darzustellen sind.

Man setze zwei Platinstreifen, welche die Endpuncte einer Kette von mässiger electromotorischer Kraft, z. B. eines einzigen Daniell'schen Elementes, bilden in eine Auflösung von Bleizucker, so wird das Bleisalz nicht electrisch zerlegt. Man bemerkt aber an dem negativen Pole eine sehr langsame Gasentwicklung (Wasserstoffgas) und an dem positiven Pole bildet sich braunes Bleihyperoxyd, in welcher Form nach und nach alles Blei aus der Flüssigkeit abgeschieden wird. Hier war also, unterstützt durch die Verbindungsfähigkeit des Sauerstoffs im Erzeugungszustande, die Electrolyse des Wassers durch eine Kraft bewirkt worden, die für sich nicht einmal das Bleisalz zersetzen konnte.

Auf ähnliche Weise und aus demselben Grunde setzt sich an dem positiven Pole Manganhyperoxyd ab, wenn die Flüssigkeit aufgelöstes Manganoxydul enthielt. Diess geschieht selbst bei

Anwendung einer kräftigeren Kette und ohne dass sich metallisches Braunstein am negativen Pole zeigt. Die geringsten Spuren von Manganoxydul können auf diese Weise in einer Flüssigkeit bemerkbar gemacht werden.

Befindet sich in der Zersetzungszelle eisenfreier Kupfervitriol oder auch nur verdünnte Schwefelsäure, so entbindet sich an der positiven Platinplatte zugleich mit dem Sauerstoffgase ein flüchtiger Stoff von eigenthümlich säuerlichem, dem der salpetrigen Säure ähnelndem Geruche, jedoch in so geringer Menge, dass die Isolirung desselben so wie die nähere Erforschung seines Verhaltens grosse Schwierigkeiten bietet. Die Vermuthung, dass es eine höhere Oxydationsstufe des Wasserstoffs sey, ist indessen durch Untersuchungen von Fischer und neuere von Williamson fast ausser Zweifel gesetzt. Schönbein, der diesen Geruch zuerst bemerkte, nannte den Träger desselben Ozon; er glaubte in seinem Ozon ein eigenthümliches Princip und zugleich die Ursache des Geruchs der aus Spitzen ausströmenden Reibungselectricität entdeckt zu haben. Gegenwärtig scheint er aber diese Vorstellung selbst wieder aufgegeben und die vorher erwähnte Ansicht über die Zusammensetzung des riechenden Stoffs adoptirt zu haben.

Wird die Zersetzungszelle durch eine poröse Wand in zwei Abtheilungen geschieden, die man beide mit Salmiaklösung anfüllt; so erhält man am negativen Pole Ammonium, das in Wasserstoff und Ammoniak zerfällt; am positiven Pole zeigt sich aber kein Chlor, sondern freie Salzsäure und Chlorstickstoff, das sich in gelben ölartigen Tropfen absetzt. Das durch die Electrolyse ausgeschiedene Chlor hatte folglich dem Salmiak seinen Wasserstoff entzogen und Chlorstickstoff zurückgelassen. Da der Chlorstickstoff ein, wie bekannt, sehr leicht explodirender Körper ist, so erfordert die Anstellung dieses Versuches grosse Vorsicht. Er wird nach R. Böttger's Angabe ganz gefahrlos, wenn man auf die den positiven Pol umgebende Flüssigkeit eine dünne Schicht Terpenthinöl gibt, indem die verschwindenden kleinen Tröpfchen Chlorstickstoff, indem sie sich von der Polplatte erheben und mit dem Terpenthinöl in Berührung kommen, sogleich explodiren, bevor sie sich zu grösseren Gefahr drohenden Massen ansammeln können.

Wenn man den positiven Pol einer kräftigen Batterie mit einer Platte von englischem Gusseisen verbindet und diese in eine möglichst concentrirte Lösung von Aetzkali eintaucht (als negative Gränzfläche kann eine Platin- oder Eisenplatte verwendet werden), so scheidet sich an dem Gusseisen kein Sauerstoff ab, aber die Flüssigkeit in seiner Umgebung wird dunkelroth gefärbt, durch die Bildung von eisensaurem Kali.

Besonders geeignet, um auf dem angedeuteten Wege chemische Verbindungen und zwar hauptsächlich solche hervorzubringen,

die nur durch schwache Verwandtschaften gehalten sind, erscheinen nach Becquerel die langsam wirkenden galvanischen Ketten, welche aus zwei Flüssigkeiten mit einem Metalle gebildet werden. Mit Hülfe derartiger Combinationen hat Becquerel Metalloxyde, Schwefelmetalle, Chlormetalle und zahlreiche Doppelverbindungen im krystallisirten Zustande erhalten. (Siehe sein traité de l'électricité ect. t. III, auch Pogg. Ann. 16. 306 und 18. 143.)

Von dem Leitungswiderstande und dem Ohm'schen Gesetze.

403. Die verschiedenen Leiter der Electricität, feste und flüssige Körper, aus welchen eine galvanische Kette zusammengesetzt ist und die theils wesentliche Bestandtheile derselben ausmachen, theils aus irgend andern Gründen in den Kreis derselben eingeschlossen sind, lassen sich gleichsam als eine Röhrenleitung betrachten, worin die Electricität durch die Wirksamkeit der electromotorischen Kraft bewegt wird, ähnlich wie fliessendes Wasser durch sein Gefälle.

In jedem Bestandtheile der Leitung, welche der Strom durchdringen muss, erfährt derselbe einen Widerstand, der theils von der innern Beschaffenheit des Stoffes, theils von seinen Dimensionen abhängt. Die Summe aller dieser Aufenthalte im Umfange einer Kette auf eine gemeinschaftliche Maasseinheit zurückgeführt (reducirt) nennt man den Leitungswiderstand dieser Kette. In der Kette finde sich z. B. ein Metalldraht, etwa ein Kupferdraht von genau bekannten Dimensionen eingeschlossen und man nehme an, als die wahrscheinlichste Hypothese, dass der durch diesen Draht verursachte Widerstand sich wie die Länge desselben verhalte, so kann man sich weiter vorstellen, dass jedes der übrigen Glieder der Kette für sich genommen einen Widerstand bewirkt, der dem eines mehr oder weniger grossen Bruchtheils jenes Drahtes gleichkommt. Auf diese Weise ist also der ganze Apparat, in Beziehung auf sein Vermögen die Electricität zu leiten mit einem Kupferdrahte von bekannter Dicke und Länge verglichen. Ohm, von welchem diese Betrachtungsweise herrührt, nennt den so bezeichneten Widerstand: den reducirten Leitungswiderstand, und er hat, um die Abhängigkeit des electrischen Stroms von der bewegenden Kraft und dem Widerstande auszudrücken, das folgende allgemein geltende, durch die Einfachheit seines Ausdrucks merkwürdige Gesetz aufgestellt: Die Menge (Quantität) der bewegten Electricität verhält sich direkt wie die vorhandene electromotorische Kraft und umgekehrt wie der reducirte Leitungswiderstand. Bezeichnen wir mit Q die Quantität der in der Einheit der Zeit bewegten Electricität, die Stromstärke, mit K die gesammte electromotorische

Kraft der Kette, mit R den Widerstand im Umfange derselben, ausgedrückt als Drahtlänge, so ist hiernach:

$$Q = \frac{K}{R}$$

indem diejenige Stromstärke, welche der Kraft Eins und der Drahtlänge Eins entspricht, ebenfalls als Einheit genommen wird.

404. Die Richtigkeit dieses Gesetzes lässt sich experimentell leicht bewähren. Sehen wir zuerst, dass die Stromstärke dem Leitungswiderstande umgekehrt proportional ist. Man führe zu dem Ende einen constanten Strom, etwa den eines Kohlenelementes durch den Ring der Tangentenbussole (370) und noch durch so viel Umwindungen des Regulators (398), dass dadurch eine bestimmte Ablenkung der Nadel, z. B. die von 30° erhalten wird. Angenommen es waren dazu 5 Windungen erforderlich. Da die Tangenten der Ablenkungswinkel den Stromstärken proportional sind, so können sie als Maass dafür gelten. Es ist unter dieser Voraussetzung $\text{tng } 30^0 = \frac{K}{R}$. Setzt man mehr Argentandraht zu, so vermindert sich der Strom; werden z. B. noch 6,30 Windungen eingeschoben, so stellt sich die Nadel bei 16°,1. Es ist aber $\text{tng } 16^0,1 = \frac{\text{tng } 30^0}{2}$, d. h. die Stromstärke ist halb so gross wie früher. Wir schliessen hieraus im Sinne des Ohm'schen Gesetzes, dass der reducirte Leitungswiderstand R = 6,30 Drahtwindungen des Regulators und dass der Widerstand, welchen der Strom bei seinem Durchgange durch die Bestandtheile des Kohlenelementes selbst erfährt, dem von 6,30 — 5 = 1,30 Windungen gleichkommt. Man hat demnach

$\text{tng } 30^0 = \frac{K}{6,30}$; $\text{tng } 16^0,1 = \frac{K}{2 \,.\, 6,30}$ und es muss ferner seyn:

$\frac{\text{tng } 30^0}{3} = \text{tng } 10^0,9 = \frac{K}{3 \,.\, 6,30}$ und eben so

$2 \text{ tng } 30^0 = \text{tng } 49^0,1 = \frac{K}{6,30/_2} = \frac{K}{1,30 + 1,85}$.

In der That wird das vorletzte Resultat erhalten, wenn der Strom eines Elementes genöthigt wird durch 17,60 Windungen zu laufen; das letzte, wenn nur 1,85 Windungen eingeschaltet werden. Die Kraft K selbst findet man = 3,64, und man ist nunmehr im Stande, je nach der Länge des eingeschalteten Drahtes die Ablenkung, welche eintreten muss, im Voraus mit Sicherheit zu berechnen.

405. Die Stromstärke wächst proportional mit der Kraft. Wir hatten vorher (nach Annahme) gefunden, dass ein Kohlenelement mit 5 Regulatorwindungen einen Strom bewirkte, der die Nadel um 30° ablenkte. Der gesammte auf Windungen

reducirte Leitungswiderstand betrug hierbei 6,30. Man nehme ein zweites Kohlenelement und untersuche wie vorher den Widerstand seiner unmittelbaren Bestandtheile Angenommen er betrage ebenfalls 1,30 Windungen; so werden beide Elemente hinter einander und mit 5 Windungen verbunden, einen Widerstand verursachen, der um 1,30 grösser ist als 6,30. Man ziehe daher 1,30 Drahtwindungen aus der Kette heraus. Der Widerstand ist hierdurch genau derselbe geworden wie früher, die Kraft aber verdoppelt. Die Nadel stellt sich bei $49^0,1$. Es ist aber $\text{tng}\, 49^0,1 = 2 \,.\, \text{tng}\, 30^0 = \frac{2\,.\,K}{6,30}$.

Fügt man noch 6,30 Windungen hinzu, so wird wieder die Ablenkung von 30^0 erhalten.

406. Wenn Kraft und Widerstand gleichzeitig und in proportionaler Weise zu- oder abnehmen, so bleibt die Stromstärke ungeändert. Man wähle mehrere constante Elemente aus, gleichgültig ob von derselben oder von verschiedener Art und sehe, wie viel Draht jedem einzelnen zugefügt werden muss, damit es für sich einen Ausschlag von 30^0 bewirkt. Es verhält sich in diesem Falle die Kraft K' irgend eines der gewählten Elemente zum Widerstande R' desselben wie $3,64 : 6,30$; oder anders gesagt, wenn $K' = n$ mal 3,64, so muss auch $R' = n$ mal 6,30 seyn. Man verbinde nun alle diese Elemente in gleichem Sinne und setze die Summe der Drahtwindungen zu, welche erfordert wurden, um mit jedem einzelnen die Ablenkung von 30^0 zu erzielen; die Nadel wird sich wieder bei 30^0 feststellen, weil durch diese Verbindung Kraft und Widerstand in gleichem Verhältnisse zugenommen haben. Es ist nämlich allgemein

$$\frac{K + K' + K'' + \ldots}{R + R' + R'' + \ldots} = \frac{(1 + n + n' + \ldots)\, K}{(1 + n + n' + \ldots)\, R} = \frac{K}{R} = \text{tng}\, \varphi^0.$$

Eine Batterie aus noch so vielen gleichen Gliedern zusammengesetzt, kann also keine stärkere Ablenkung der Nadel bewirken als jedes einzelne dieser Glieder, sobald der Strom unmittelbar in den Galvanometerdraht geführt wird und letzterer so gewählt ist, dass er selbst keinen merklichen Widerstand verursachen kann.

407. Aufgabe: Die electromotorischen Kräfte K, K' u. s. w. verschiedener constanter Ketten sollen unter einander verglichen werden. Man verbinde jede dieser Ketten für sich mit der Tangentenbussole und sorge durch Einschluss einer hinreichenden Menge Regulatordraht (r Windungen), dass eine gewisse Ablenkung von φ Graden erhalten wird; dann lasse man durch vermehrten Drahtzusatz (ϱ) die Nadel auf einen bestimmten Grad φ' herabsinken. — Diese Versuche führen je zu zwei Gleichungen, von der Art wie die folgenden:

$$\text{tng}\, \varphi = \frac{K}{R + r} \text{ und } \text{tng}\, \varphi' = \frac{K}{R + r + \varrho}$$

woraus man findet:

$$R + r = \frac{tng\,\varphi'}{tng\,\varphi - tng\,\varphi'}\varrho \text{ und } K = \frac{tng\,\varphi\,tng\,\varphi'}{tng\,\varphi - tng\,\varphi'}\varrho.$$

Die Kräfte K, K' ect. verhalten sich demnach wie die Anzahl Windungen ϱ, ϱ' ect., welche bei jeder Kette zuzufügen sind, um den Stand der Nadel von φ auf φ' zurückzuführen.

Um die Grove'sche, Bunsen'sche und Daniell'sche Kette unter einander zu vergleichen, wurde die Nadel zuerst auf 30° eingestellt, dann liess man sie auf 20° zurückgehen. Es ergab sich:

	r	ϱ	K
Grove'sche Kette	4,42	3,60	1
Bunsen'sche Kette	4,56	3,62	1
Daniell'sche Kette	1,72	2,10	0,584.

Die zu den beiden ersten Ketten verwendete Salpetersäure wog 1,38. Nach mehrjährigem häufigem Gebrauche, immer derselben Säure, erhielt man K = 0,947. Die unter Mitwirkung der Salpetersäure erhaltene Kraft nimmt also durch den Gebrauch nur wenig ab. Eine mit abgenutzter Säure gebildete Kette besitzt jedoch einen vergleichungsweise geringen Grad der Beständigkeit.

408. Der Leitungswiderstand eines Metalldrahts verhält sich wie seine Länge und umgekehrt wie der Flächeninhalt seines Querschnittes. Eine Bestätigung dieses Satzes erhält man z. B. aus folgendem Versuche. Ein Kohlenelement mit 5 eingeschalteten Regulatorwindungen lenkte die Nadel um 30° ab. Vermehrte man die Zahl der Windungen bis auf 10, so trat die Nadel bis auf 17°,85 zurück; wurde aber noch ein zweiter Argentandraht, von gleicher Dicke und Länge wie der eingeschlossene Theil des Regulatordrahts so eingeschaltet, dass der Strom sich zwischen beide theilen musste, so stellte sich die frühere Stromstärke wieder her; d. h. der reducirte Widerstand bleibt ungeändert, wenn Länge und Querschnitt des Drahtes proportional zunehmen. Ganz dasselbe Resultat wird erhalten, wenn man anstatt der beiden Drähte einen einzigen von gleicher Länge aber von doppeltem Querschnitte in die Kette einschliesst.

Nimmt man nun allgemein eine Regulatorwindung als Längeneinheit, die Querschnittsfläche des Regulatordrahts als Einheit des Querschnittes, so findet man die reducirte Länge eines beliebigen andern Argentandrahts $r = \frac{l}{f}$. Befinden sich daher in einer Kette mehrere auf einander folgende Leiter, von gleichartigem Stoffe aber ungleichen Dimensionen, so lässt sich der reducirte Werth derselben bestimmen, indem man die wahre Länge eines jeden durch seinen Querschnitt dividirt; die Summe dieser Quotienten

$$\frac{l}{f} + \frac{l'}{f'} + \frac{l''}{f''} + \ldots = r + r' + r'' + \ldots = R$$

gibt die reducirte Länge sämmtlicher Leiter.

Beispiel: Ein Kohlenelement mit 5 Regulatorwindungen gibt eine Ablenkung von 30°; der Durchmesser des Regulatordrahts beträgt 1,5 mmtre. Es wird ein 2 mmtre dicker Argentandraht, 8 Windungen lang eingeschaltet; wie viel Regulatorwindungen müssen abgewickelt werden um den früheren Ausschlag wieder zu erhalten? Antwort 4,5 Windungen.

Wenn sich der Leitungsdraht in zwei oder mehrere gleichlange, später wieder zusammenlaufende Aeste spaltet, etwa so wie die Figur 164 andeutet, so verhalten sich die zwischen den Vereinigungspuncten *a* und *b* liegenden Stücke wie ein einziger Draht, dessen Querschnitt gleich ist der Summe der Querschnitte der verschiedenen Aeste. Die durch einen Ast laufende Electricitätsmenge verhält sich also zur gesammten circulirenden Electricität, wie der Querschnitt dieses Astes zur Summe der Querschnitte sämmtlicher Aeste. Haben die einzelnen neben einander her laufenden Stücke ungleiche Längen, so gilt dieselbe Regel für die auf gleiche Längen reducirten Querschnitte derselben. Es sey $\varrho = \frac{\lambda}{\psi}$ die auf die angenommene Einheit des Querschnittes reducirte Länge eines Astes, so ist $\frac{1}{\varrho}$ der auf die Längeneinheit reducirte Querschnitt desselben; folglich der reducirte Querschnitt sämmtlicher Verzweigungen: $\frac{1}{\varrho} + \frac{1}{\varrho'} + \frac{1}{\varrho''} + \ldots = \frac{1}{r}$, wo r die auf den Durchmesser des Regulatordrahts reducirte Länge aller zwischen *a* und *b* liegenden Drahtstücke vorstellt. Wenn nun diese Verzweigungen im Kreise einer galvanischen Kette liegen, so verhält sich irgend ein Zweigstrom q zur ganzen Stromstärke Q, wie der reducirte Querschnitt $\frac{1}{\varrho}$ zum reducirten Querschnitte sämmtlicher Aeste $\frac{1}{r}$

Fig. 164.

nämlich $q : Q = \frac{1}{\varrho} : \frac{1}{r}$

oder auch $q : Q = r : \varrho$

woraus folgt $Qr = q\varrho = q'\varrho' = q''\varrho''$ u. s. w.

Beispiel: Es sey *K* die Kraft eines Kohlenelementes, *R* der Leitungswiderstand, *R'* eine Anzahl in die Kette gebrachter Regulatorwindungen, *q* die dadurch erhaltene Stromstärke. Es werde neben dem Regulatordraht ein anderer Argentandraht von der reducirten Länge ϱ' angebracht, so dass sich der Strom auf beide vertheilen muss. Wie viele Windungen des Regulators müssen aus der Kette herausgebracht werden, damit der durch denselben gehende Zweigstrom die anfängliche Stärke *q* wieder gewinnt? Wenn die bleibenden Windungen mit

ϱ, die ganze Stromstärke mit Q, der reducirte Leitungswiderstand beider Aeste mit r bezeichnet werden, so lassen sich die drei Gleichungen bilden:

$$Q = \frac{K}{R+r};\ Qr = q\varrho;\ \frac{1}{r} = \frac{1}{\varrho} + \frac{1}{\varrho'}$$

aus welchen die drei Unbekannten Q, r und ϱ abgeleitet werden können.

Man findet $\varrho = \frac{(K - qR)\varrho'}{q(R+\varrho')}$;

Die Bedingungen der Aufgabe führen aber auch noch zu einer vierten Gleichung $q = \frac{K}{R+R'}$; wenn man aus dieser den Werth $K = qR + qR'$ in den vorher gefundenen Ausdruck von ϱ, für K substituirt, so erhält man die einfachere Formel $\varrho = \frac{R'\varrho'}{R+\varrho'}$.

Hat man ϱ durch einen Versuch ausgemittelt, und ist dagegen R, d. h. der gesammte Leitungswiderstand der Kette, nach Abzug des Regulatordrahts unbekannt, so findet man $R = \frac{(R' - \varrho)\varrho'}{\varrho}$.

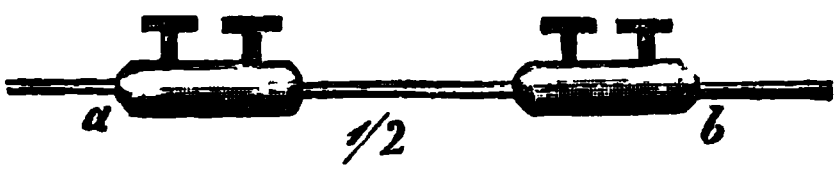
Dieses von Wheatstone angegebene Verfahren R zu bestimmen ist besonders dann sehr empfehlenswerth, wenn man sich auf die Anzeigen eines Galvanometers nicht ganz verlassen kann.

Wenn der ganze Strom einer constanten Kette genöthigt wird durch den Ring der Tangentenbussole zu gehen, während man den Draht eines Multiplicators, der bestimmt ist weit schwächere Ströme zu messen, einer Verzweigung derselben Kette einschliesst, so hat man, durch Veränderung der Länge dieses Zweigdrahts, es ganz in der Gewalt einen mehr oder weniger grossen, messbaren Bruchtheil des Stroms durch das zweite Galvanometer gehen zu lassen. Man erhält hierdurch ein sehr einfaches Mittel, die Anzeigen zweier Instrumente vergleichbar zu machen.

409. Der Leitungswiderstand im Umfange einer geschlossenen electrischen Kette ändert sich nicht nur mit den Dimensionen eines jeden eingeschalteten Drahts, sondern auch mit der einem jeden Verbindungsstücke eigenthümlichen Leitfähigkeit.

Beispiel: Der Schliessungsdraht einer constanten Kette wurde durchschnitten und an den hierdurch entstandenen Enden a und b (Fig. 165) wurden Schraubenklemmen befestigt. Man gewann hierdurch ein sehr einfaches Mittel Drähte von bestimmter Länge, durch Einklemmen zwischen die Schrauben rasch in den Kreislauf des Stroms einzuschliessen und leicht wieder durch andere zu ersetzen. Zuerst wählte man als Verbindungsstück einen kurzen Kupferdraht von 2,062 mmtre Durchmesser, an dessen Stelle, nachdem der Strom mit Hülfe des Regulators zu einer bestimmten Stärke gebracht worden war, ein anderer Kupferdraht von derselben Dicke, aber von 9,3 Mtre Länge (nach Abzug des herausgenommenen Stücks) eingesetzt wurde. Die Stromstärke hatte dadurch abgenommen, und um die frühere Stellung der Nadel wieder zu erreichen, mussten 0,638 Mtre Argentandraht aus der Kette entfernt

Fig. 165.



werden. Der Kupferdraht auf den Querschnitt des Regulatordrahts (1,504 mmtre) reducirt, entsprach einer Länge von 4,94 Mtre. Nun verhält sich 0,638 : 4,94 = 1 : 7,75. Bei einerlei Querschnitt leistet folglich 1 Metre Argentandraht denselben Widerstand wie 7,75 Metre dieses Kupferdrahtes (eisenhaltiges Kupfer des Handels); oder was dasselbe sagt: die Fähigkeit dieses Kupfers, die Electricität durchzulassen, war mehr als 7,7 mal so gross als das Leitungsvermögen des Argentans. Das Leitungsvermögen des reinen Kupfers auf dieselbe Weise bestimmt, wurde 11,83 mal grösser, das des reinen Silbers 12,40 mal grösser als dasjenige des Neusilbers gefunden.

Um die reducirte Länge eines Leiters durch Rechnung zu finden, muss folglich der durch Division seiner wirklichen Länge durch seinen Querschnitt erhaltene Quotient, noch mit einer Zahl multiplicirt werden, welche den der Materie eigenthümlichen Leitungswiderstand, oder den Widerstand für die Einheit der Länge und des Querschnitts ausdrückt. Nimmt man den Widerstand des Argentans als Einheit, so ist der jenes unreinen Kupfers gleich $\frac{1}{7,7}$, daher die reducirte Länge eines Kupferdrahts von derselben Art wie der oben geprüfte $= \frac{1}{7,7} \frac{l}{f}$

Das obige Beispiel zeigt zugleich ein Verfahren, den eigenthümlichen Leitungswiderstand verschiedener Stoffe ausfindig zu machen. Diese Methode, ungeachtet sie in der Ausführung einfach ist und sehr zuverlässige Resultate verspricht, ist doch bis jetzt nur in einzelnen Fällen angewendet worden. In N. 364 ist eine Uebersicht der Leitfähigkeit mehrerer Metalle nach Riess mitgetheilt. Wenn man mit jeder dieser Zahlen in 100 dividirt, erhält man den Leitungswiderstand der betreffenden Körper bezogen auf das chemisch reine Kupfer als Einheit.

Silber .	0,672	Eisen .	5,663
Kupfer .	1,000	Platin .	6,444
Gold . .	1,125	Zinn . .	6,802
Cadmium	2,602	Nickel .	7,604
Messing	3,610	Blei . .	9,690
Palladium	5,501	Neusilber	11,286

410. Der Leitungswiderstand der flüssigen Bestandtheile der electrischen Kette ist ausserordentlich viel grösser als derjenige der Metalle. Um den Werth desselben für irgend eine Flüssigkeit kennen zu lernen, kann man folgenden Weg einschlagen: Ein viereckiger Kasten von festem Holze, (Fig. 166), 0,3 Metre lang, 0,075 Metre breit und etwa eben so tief, ist im Innern dick gefirnisst, um das Eindringen der Flüssigkeit möglichst zu verzögern. Darauf befinden sich zwei Bretstücke, von welchen das eine fest

Fig. 166.

sitzt, das andere verschiebbar ist. Sie dienen um die in die Flüssigkeit eintauchenden Platten zu halten und nach Befinden deren Abstand zu verändern. Diese Platten, von gleicher Grösse wie der Querschnitt des Kastens, werden an den Kupferstreifen *c* festgeklemmt; letztere sind an den Bretstücken angeschraubt und ihre umgebogenen Enden tauchen in die zur Aufnahme der Poldrähte bestimmten Quecksilbernäpfe *a*. Wenn man nun diesen Apparat in die Kette einschliesst und in den Kasten eine beliebige Flüssigkeit bringt, so findet man sogleich, dass der Widerstand mit der Dicke der zwischen beiden Platten befindlichen flüssigen Schicht zunimmt. Doch bemerkt man, dass die erste Lage Flüssigkeit zwischen den Platten, mag dieselbe auch nur wenige Linien betragen, gewöhnlich eine auffallend grössere Verzögerung bewirkt, als jede folgende gleich dicke Schicht. Lässt man aber diese erste Lage z. B. die fünf ersten Millimetre ganz unberücksichtigt, so ergibt sich für den übrigen Theil der eingeschichteten Flüssigkeit ein Leitungswiderstand, welcher gleich wie bei metallischen Leitern, der Länge direkt und dem Querschnitte umgekehrt proportional ist, übrigens von einer Flüssigkeit zur andern wechselt. Der Grund des von diesem Gesetze abweichenden Widerstandes in der dünnen die Metallplatten unmittelbar berührenden flüssigen Schicht, ist die durch Zersetzung der Flüssigkeit bewirkte Polarisation der metallischen Grenzflächen. Die Grösse der Abweichung wechselt daher auch je nach der Grösse der, mit dem Worte Polarisation bezeichneten, electromotorischen Gegenkraft. Angenommen die Flüssigkeit in dem Kasten war verdünnte Schwefelsäure von 1,1 spec. Gew., der Querschnitt derselben betrug 2812 Q. Mmtre und die eingetauchten Platinplatten wurden nach und nach in verschiedenen Abständen, parallel einander gegenübergestellt, so ergab sich bei 10° Ablenkung der Nadel und 5 Mmtre Abstand der Platten ein Widerstand, der demjenigen von 33,69 Regulatorwindungen gleichkam. Für je 10 Centimtre vergrösserten Abstand konnte die Widerstandszunahme durch 6,56 Regulatorwindungen ersetzt werden. Dieser letztere ausschliesslich von dem Leitungsvermögen der Flüssigkeit abhängige Widerstand blieb bei jeder Veränderung der Stromstärke derselbe; dagegen die erste, im Zwischenraume der fünf ersten Millimetre bewirkte Verzögerung änderte sich mit der Stärke des Stroms und mit der Beschaffenheit der eingetauchten Platten.

Will man den Widerstand dieser Flüssigkeit auf den einer Regulatorwindung zurückführen, deren Länge 75 Centimetre und

deren Querschnitt 1,776 Q. Millimetre ausmachte, so findet man das Verhältniss wie 1 : 77585. D. h. die Leitfähigkeit des Neusilbers (des schlechtesten Leiters unter den Metallen) ist 77585 mal grösser als die der verdünnten Schwefelsäure bei 1,115 spec. Gew.

Auf dem angedeuteten Wege hat E. N. Horsford den Leitungswiderstand verschiedener Flüssigkeiten untersucht. Die folgende Tabelle ist aus seiner Arbeit entlehnt.

Namen und Beschaffenheit der Flüssigkeit.	Leitungswiderstand, wenn der des Neusilbers = 1;	Leitungswiderstand, wenn der des chemisch reinen Silbers = 1.
Schwefelsäure von 1,10 spec. Gew.	75673	938500
„ „ „ 1,15 „ „	67770	840500
„ „ „ 1,20 „ „	56180	696700
„ „ „ 1,24 „ „	56180	
„ „ „ 1,30 „ „	56180	
„ „ „ 1,40 „ „	82520	1023400
Kochsalzlösung 27,6 Grm in 500 C. C. Wasser	577100	7157000
„ „ 21,3 „ „ „ „ „	769460	9542000
„ „ 10,65 „ „ „ „ „	1488200	18460000
„ „ 5,325 „ „ „ „ „	2750560	34110000
Chlorkaliumlösung 27,6 Grm in 500 C. C. Wasser	578000	7168000
Kupfervitriollösung; 100 C. C. enthalten 15,093 Grm CuO_1SO_3	972320	12058000
Kupfervitriollösung; dieselbe Salzmenge im doppelten Volume Flüssigkeit	1410200	17490000
Zinkvitriollösung; 100 C. C. enthalten 7,287 Grm ZnO_1SO_3HO	1896000	23515000

Diese Angaben gelten für eine mittlere Temperatnr von ungefähr 10° C. Bei abnehmender Temperatur vermehrt sich der Leitungswiderstand flüssiger Körper sehr merklich. Doch fehlt es hierüber bis jetzt an verlässigen Erfahrungen.

Sehr bemerkenswerth ist die geringe Fähigkeit des reinen Wassers die Electricität zu leiten. Sein Leitungsvermögen ist fast 13,7 Millionen mal geringer als das des Neusilbers, oder 169,4 Millionen mal geringer als das des Silbers. Gleichwohl ist Regenwasser ein guter Leiter, verglichen mit trocknem Holze und trocknem Erdreiche. Die tieferen mit Wasser reichlich getränkten Erdschichten leiten vergleichungsweise gut und zeigen dabei das Eigenthümliche, dass sie, durch (in Brunnen) eingesenkte Metallplatten von etwa 4 Q. F. Fläche in den Kreislauf einer electrischen Kette eingeschlossen, einen Widerstand bewirken, der von dem Abstande beider Platten beinahe ganz unabhängig ist. Derselbe kommt dem eines Neusilberdrahts von 380 Meter Länge bei 1,5 Millimeter Durchmesser nahe gleich.

411. Man vermindert den Leitungswiderstand der flüssigen Bestandtheile im Inneren galvanischer Ketten durch Vergrösserung der eingetauchten Platten und Verringerung des zwischen jedem Plattenpaar befindlichen, mit Flüssigkeit ausgefüllten Raums. Weit mehr erreicht man jedoch bei den constanten Ketten durch die Beseitigung der Polarisation.

Die Kohlencylinder, so wie dieselben gegenwärtig nach Bunsen's Vorschrift in Marburg verfertigt werden, haben im Innern

einen Durchmesser von 5 Centimeter bei höchstens 10 Centimeter Höhe des eingetauchten Theils. Die dem Zinkcylinder gegenüberstehende Fläche hat also ungefähr 150 Q. Centim. Inhalt. Der Abstand beider die Flüssigkeiten begränzenden Flächen beträgt nicht mehr als 5 mmtre. Werden zwei dieser constanten Ketten neben einander verbunden, d. h. Kohle mit Kohle, Zink mit Zink, so dass sie ein einziges Kettenglied von doppelter Grösse der eingetauchten Platten vorstellen, so wird bei unveränderter Grösse der electromotorischen Kraft, der Widerstand im Innern der Kette auf die Hälfte vermindert. Der Vortheil der daraus entspringt, lässt sich mittelst der Formel: $q = \frac{K}{\frac{R}{2} + r}$ leicht übersehen. Offenbar nur dann, wenn die durch die flüssigen Bestandtheile der Kette verursachte Verzögerung des Stroms, verglichen mit dem Leitungswiderstande des übrigen Theils der Kette, gross ist, kann es von Bedeutung werden, mehrere Elemente neben einander zu einem einzigen grösseren zu verbinden.

Wenn man zuerst ein constantes Element, dann zwei neben einander zur Kette schliesst und durch Einschieben von Argentandraht den Strom in beiden Fällen zu gleicher Stärke regulirt, so führen die Ergebnisse dieser Versuche zu den Gleichungen:

$$q = \frac{K}{R + r} \text{ und } q = \frac{K}{\frac{R}{2} + r'}$$

woraus sich ergibt, dass $\frac{R}{2} = r' - r$ also $R = 2(r' - r)$. Auf diesem Wege fand man, bezogen auf Regulatorwindungen und für 150 Q. C. Flächeninhalt der eingetauchten Platten den Leitungswiderstand im Innern eines constanten

Kohlenelementes = 0,99 Windungen des Regulatordrahts
Platinelementes = 1,20 „ „ „ „
Kupferelementes = 1,24 „ „ „ „

Der Leitungswiderstand in diesen drei Ketten ist also nicht bedeutend verschieden und bei den angegebenen Dimensionen überhaupt nicht sehr beträchtlich. Hat man eine grössere Anzahl constanter Elemente zur Verfügung, so entsteht häufig die Frage, welche Weise der Zusammenstellung den grösstmöglichsten Effekt liefert? Es seyen im Ganzen n Elemente zu einer Kette von x auf einander folgenden Gliedern zusammengestellt, dergestalt dass je $\frac{n}{x}$ Elemente neben einander ein um eben so vielmal vergrössertes Plattenpaar vorstellen. Der Leitungswiderstand eines jeden Gliedes erscheint also auf den Werth $\frac{Rx}{n}$ zurückgeführt. Setzt man

den Widerstand des übrigen Theils der Kette $= r$, so wird die Stromstärke $Q = \frac{x \,.\, K}{x \,.\, \frac{Rx}{n} + r}$ ihren grössten Werth erhalten, wenn $\frac{Rx \,.\, x}{n} = r$; d. h. wenn die Säule so zusammengestellt worden ist, dass der Widerstand im Innern derselben dem der übrigen Verbindungsstücke gerade gleichkommt.

Es seyen z. B. 4 Kohlenelemente vorhanden, und der Widerstand r entspreche dem von nur einer Regulatorwindung, so würden sie am besten zu zwei neben einander geordnet werden. Käme aber r dem Widerstande von 4 Windungen gleich, so würde man die vier Elemente hinter einander verbinden müssen.

412. Bestimmung des Widerstandes der Polarisation. Die Hindernisse welche flüssige Verbindungen dem Durchgange des electrischen Stroms entgegensetzen, können wie wir wissen, durch zwei wesentlich verschiedene Ursachen herbeigeführt werden; einestheils nämlich durch den Leitungswiderstand, anderntheils durch die Polarisation der eingetauchten Platten. Dieser letztere Widerstand, wenn auch eine Folge des Stroms, verhält sich doch, so lange er vorhanden ist, als eine selbstthätige electromotorische Kraft und ist als solche der ursprünglichen Betriebskraft des Stromes entgegengesetzt; er muss folglich von der letzteren in Abzug gebracht werden, wenn es sich darum handelt, das Maass der wirklich thätigen Kraft einer Kette kennen zu lernen.

Beispiel: Vier Kohlenzink-Paare waren mit einem Wasserzersetzungs-Apparate (Platinplatten in verdünnter Schwefelsäure) verbunden und die Stromstärke durch Zusatz von Argentandraht auf 40° gebracht. Um die Ablenkung auf 30° zurückzuführen, mussten noch 4,30 Windungen eingeschaltet werden. Dieselben 4 Elemente nach Ausschluss der Zersetzungszelle, wie vorher auf 40° Ablenkung regulirt und dann durch Drahtzusatz der Strom auf 30° zurückgeführt, bedurften hierzu 7,24 Windungen. Die Betriebskraft in beiden Fällen (siehe N. 407) verhielt sich also wie 4,30 : 7,24. Der Unterschied 2,94 bezeichnet den proportionalen Werth der Polarisation. Die Kraft eines Kohlen-Zink-Paars, nämlich $\frac{7,24}{4} = 1,81$ der Einheit gleich gesetzt, findet man hiernach die Gegenkraft der Polarisation, hervorgerufen unter dem Einflusse eines Stroms von 40° (d. h. eines Stroms der in der Minute 35,38 C. C. Wasserstoffgas liefert) $\frac{2,94}{1,81} = 1,6$. Dieser Werth gilt indessen nicht bloss für die genannte Stromstärke, sondern mit geringen Abweichungen für starke Ströme überhaupt, so oft denselben ein Voltameter mit Platinplatten eingeschlossen ist. Bei

Strömen unter der für eine lebhafte Wasserzersetzung geeigneten Stärke zeigt sich eine bedeutend geringere, mit der Stromstärke im Allgemeinen abnehmende Gegenkraft. Die Grösse derselben ist übrigens ganz unabhängig von der Einsenkungstiefe der Platten so wie von der Dicke der flüssigen Schicht zwischen denselben.

Der Widerstand eines mit der galvanischen Kette verbundenen Voltameters lässt sich nunmehr leicht der Rechnung unterwerfen, indem man der Ohm'schen Formel die Gestalt gibt:

$$Q = \frac{n\,K - P}{n\,R + r}$$

wo P den Einfluss der Polarisation vorstellt. Für die Grove'sche und Bunsen'sche Säule ist $P = 1{,}6\,K$ (Platinplatten in Schwefelsäure vorausgesetzt); für die Daniell'sche Säule $P = 3\,K$.

Man begreift hiernach, warum die Wasserzersetzung zwischen Platinplatten die Kraft von wenigstens 2 constanten Kohlen-Zink-Paaren, oder von wenigstens 4 constanten Kupfer-Zink-Paaren in Anspruch nimmt.

Wärmeentwicklung durch electrische Ströme.

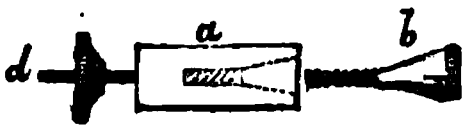
413. Wenn die bewegte Electricität, gleichgültig von welcher Quelle sie abstammt, ihren Weg durch einen metallischen Leiter nehmen muss, dessen Querschnitt nicht gross genug ist, um den Strom unverzögert durchlassen zu können, so erwärmt sich der Leiter. Metalldrähte von geringer Leitfähigkeit, z. B. dünne Platindrähte, können hierdurch bis zum Weissglühen, ja bis zum Schmelzen erhitzt werden; sind sie zugleich leicht oxydirbar wie Eisendraht, so entzünden sie sich und verbrennen.

414. Die näheren Bedingungen dieser Wärmeentbindung sind zuerst durch eine umfassende experimentelle Arbeit von Peter Riess aufgehellt und festgesetzt worden. Als Electricitätsquelle wählte er eine Reibungselectrisirmaschine, deren positiver Conductor mit der inneren Belegung einer gut isolirten Batterie in ununterbrochener Metallverbindung stand. Die Flaschen der letzteren, jede mit 1,5 Fuss Belegung, hatten möglichst gleiche Grösse und Glasdicke. Menge und Dichtigkeit der angehäuften Electricität wurden auf die schon früher (S. 283) angegebene Weise gemessen. Die zu diesem Zwecke verwendete, sorgfältig gearbeitete Lane'sche Flasche hatte ½ Q. F. Belegung auf jeder Seite, und ihre Kugeln liessen sich auf sehr genau messbare Entfernungen zu einander stellen. Dieser Abstand betrug bei dem grösseren Theile der Versuche nur ½ Linie und überstieg niemals 1 Linie. Eine so geringe Schlagweite war nöthig, damit nach jeder Entladung nur ein geringes Residuum in der Maassflasche blieb, und

folglich die Ableitung der Batterie (siehe S. 283) so gut wie vollständig in den natürlichen Zustand zurücktrat. Nur unter dieser Bedingung konnte die Anzahl Entladungen der Lane'schen Flasche als Maass für die angesammelte Electricitätsmenge mit Sicherheit genommen werden.

Als Maass für die durch den Entladungsschlag der Batterie erzeugte Wärme gebrauchte Riess ein zu diesem Zwecke ursprünglich von Harris angegebenes Lufthermometer von folgender Einrichtung. Eine Glaskugel *A* (Fig. 167.) von wenigstens 3 Zoll Durchmesser, wird an drei Stellen geöffnet, und zwar so dass zwei Oeffnungen *a* und *a'* diametral gegenüberliegen. Auf diese sind durchbohrte, ungefähr 1 Zoll lange Messingaufsätze gekittet, die äusserlich einen Schraubenzug haben und mit Hülfe noch dazwischen gelegter Lederscheibe luftdicht verschlossen werden können. Die dritte Oeffnung *b* ist mit einer durchbohrten Fassung versehen und durch einen eingeschliffenen Stöpsel luftdicht zu verschliessen; sie dient um vor dem Beginne eines Versuches die Spannung der innern und äussern Luft ins Gleichgewicht zu setzen. Die Kugel *A* sitzt an dem einen Ende einer 200 Linien langen 0‴,45 weiten Glasröhre, an deren anderem Ende ein 2″,5 hohes, 6‴,3 weites Glasgefäss *B* angelöthet ist. Das Ganze ist auf einem Brette über einer in Linien getheilten Scale befestigt. Dieses Brett wird auf die in der Figur ersichtliche Weise mittelst Metallbogen und Klemmschraube, gegen eine mit ihm durch ein Gelenke verbundene wagerechte Unterlage unter einem passenden Winkel (Riess blieb bei $6\frac{0}{1}$ stehen) festgestellt. In das Gefäss wurde durch Alkohol stark verdünnte mit Cochenille gefärbte Schwefelsäure in der Menge gegossen, dass sie im Gefässe 11, im Rohr ungefähr 100 Linien einnahm. Um den Draht, dessen Erwär-

Fig. 168.



mung untersucht werden sollte, in der Kugel auszuspannen, werden zwei Klemmen von der in Fig. 168 abgebildeten Art gebraucht. Das viereckige Drahtstück *a* (2‴ Seite, 7‴,8 lang) geht ohne Reibung durch entsprechende Oeffnungen der Messingansätze *a* und *a'*; es hat an dem einen Ende eine männliche Schraube *d* mit vorragender Schraubenmutter, am andern eine conische Vertiefung, die sich in einer weiblichen Schraube endigt. In die Vertiefung passt ein kleiner Kegel *b*, der vorn eingeschnitten ist und beim Einschrauben den in die Spalte gelegten Draht fest einklemmt. Nachdem der Draht in der gehörigen Länge, wenn er für die Kugel zu lang seyn sollte, spiralförmig gewunden, in den beiden Kegelklemmen befestigt ist, wird an der einen Klemme anstatt der Schraubenmutter ein Metallstab von der Länge des Kugeldurchmessers aufgeschraubt, welchen man dann mit Klemme und Draht leicht durch die Kugel zieht. Wenn dann der Hülfsstab wieder abgenommen worden, dient die Mutterschraube zum Festspannen des Drahts. Die Hülsen, welche über die Ansätze der Thermometerkugel geschraubt sind, haben an ihren Enden conische Oeffnungen, in welche die Zuleitungsdrähte gesteckt werden. Der eine dieser Drähte führte in fortlaufender Metallverbindung zur äusseren Belegung der Batterie; der andere zu einer isolirten Kugel, welcher eine ähnliche mit der innern Belegung der Batterie zusammenhängende Kugel gegenüberstand. Zwischen beiden, ebenfalls isolirt, befand sich eine, um excentrische Axe bewegliche Hebelstange, so gestellt dass sie, wenn man sie niederfallen liess beide Kugeln verbinden musste*). Hierdurch wurde die Kette geschlossen und die Entladung bewerkstelligt. Bildete nun der in dem Lufthermometer enthaltene Draht einen Theil des Schliessungsbogens, so wurde er erwärmt und erwärmte seinerseits wieder die umgebende Luft, aus deren Spannungszunahme und Volumsvergrösserung durch Zurückdrängen der Flüssigkeitssäule der gesammte Wärmezufluss oder auch die momentane Temperaturerhöhung des Drahtes auf bekannte Weise berechnet werden konnte. Als nothwendige Grundlage dieser Rechnung galt die durch den Gang der Versuche gerechtfertigte Voraussetzung, dass alle Wärme des Drahtes in die Luft übergegangen war und dass der hieraus entspringende Eindruck auf die Flüssigkeit des Rohrs vollständig stattgefunden hatte, bevor nur der geringste Theil dieser Wärme auf die Glashülle übertragen werden konnte. Gebrauchte man die Vorsicht, die Versuche bei ruhiger Luft und (von einem Versuche zum andern) unveränderlichem Barometerstande anzustellen, so durften die unmittelbaren Anzeigen (t) des Lufthermo-

*) Pogg. Ann. 40. S. 339., auch Dove Rep. 2. S. 97.

meters, d. h. die Anzahl Linien um welche die Flüssigkeit zurückgedrängt wurde, den entwickelten Wärmemengen (w) proportional gesetzt werden. Man erhielt also $w = \beta t$, wo β eine beständige wesentlich nur von der Beschaffenheit und Menge der das Luftthermometer ausfüllenden Luftmasse abhängige Grösse vorstellt*). Man gewann hierdurch den Vortheil, in so weit es sich nur um die Aufstellung von Gesetzen handelte, die oben angedeutete, mit grosser Schärfe nicht ausführbare Rechnung ganz umgehen zu können.

415. Wärmeerzeugung durch Entladungen von ungleicher Stärke. Welchen Einfluss Quantität und Dichtigkeit der electrischen Anhäufung auf die Wärmebildung äussern, erfährt man aus den folgenden Versuchsreihen.

S	2		3		4		5		6	
	τ		τ		τ		τ		τ	
q	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.	beob.	ber.
2	1,5	1,8								
3	4,3	4,0	3	2,6	2	2,0	1,5	1,6		
4	6,7	7,0	4,5	4,7	3,2	3,5	3,0	2,8	2,6	2,3
5	9,3	11,0	7,0	7,3	5,2	5,5	4,5	4,4	3,8	3,7
6	13,4	15,8	9,7	10,6	7,3	7,9	6,5	6,3	5,5	5,3
7			15	14,4	11,0	10,8	8,8	8,6	7,3	7,2
8			17,5	18,8	14,1	14,1	11,3	11,3	9,3	9,4
9					17,8	17,8	14,3	14,3	11,7	11,9
10							16,7	17,6	14,3	14,7

Die Beschaffenheit des Schliessungsbogens war bei allen diesen Versuchen genau gleich. Der im Luftthermometer ausgespannte Platindraht war 35 Par. Lin. lang, seine Dicke betrug 0‴,1094.

Die oberste wagerechte mit S bezeichnete Reihe gibt die Anzahl angewendeter Batterieflaschen; aus der ersten Vertikalspalte, mit q bezeichnet, erfährt man die Quantität der Ladung, ausgedrückt in Entladungen der Maassflasche; deren Kugeln auf 1 Linie Abstand gestellt waren. Die mit τ überschriebenen Vertikalspalten enthalten die Anzeigen des Luftthermometers. Alle in derselben

*) Streng genommen ist β kein constanter Werth, sondern ändert sich auch mit dem Gewichte und der Wärmecapacität des Drahtes, indem immer eine der Temperaturerhöhung der Luft correspondirende Wärmemenge in der Metallmasse zurückbleiben muss. Es ist also einleuchtend, dass nach der obigen Formel bei denjenigen Drähten, welche die meiste Wärme zurückhalten, w etwas zu gering gefunden wird. — Wenn jedoch, wie bei den Versuchen von Riess, die Luftmasse des Thermometers gross, der eingeschlossene Draht aber von sehr geringer Masse ist, so hat der begangene Fehler keinen Einfluss auf die Resultate.

wagerechten Linie aufgezeichneten Temperaturen beziehen sich auf gleiche Quantität der Ladung, alle in derselben lothrechten Linie auf gleiche Oberfläche der Batterie.

Man sieht nun sogleich dass die, gleichen Electricitätsmengen entsprechende Wärmeerzeugung, je nach der Zahl der Flaschen, worin diese Electricität vertheilt war, sehr ungleich ausfällt. Nähere Betrachtung lehrt, dass der Wärmeeffect für gleiche Electricitätsmengen der Oberflächengrösse umgekehrt, oder was dasselbe sagt: der Dichtigkeit der Anhäufung direkt proportional ist. D. h. ein gegebenes Quantum Electricität, durch denselben Schliessungsbogen entladen, erzeugt bei doppelter Dichtigkeit eine doppelte, bei dreifacher Dichtigkeit eine dreifache Menge freier Wärme u. s. w. Die nach dieser Annahme berechneten Werthe rechtfertigen dieselbe.

Für ungleiche Electricitätsmengen aber gleiche Dichtigkeit, z. B. für die doppelte Menge auf der doppelten Anzahl Flaschen vertheilt, oder die dreifache Menge auf der dreifachen Anzahl u. s. w., steigt die Wärmeentwicklung in geradem Verhältnisse zur Quantität der Entladung.

Vermehrt man die Ladung ohne Vergrösserung der Oberfläche, so wächst die Wärmemenge, wie das Quadrat der electrischen Anhäufung. Z. B. die doppelte Ladung auf derselben Anzahl Flaschen, bewirkt die vierfache Erhöhung des Thermometerstandes. Dieses Resultat ergibt sich eigentlich schon als eine nothwendige Folge der beiden vorhergehenden Erfahrungssätze, weil bei fortgesetzter Anhäufung, immer in derselben Flasche Menge und Dichtigkeit der Electricität gleichmässig zunehmen müssen. Es ist demnach allgemein $\tau = \alpha \frac{q^2}{S}$ und zwar insbesondere für die gewählten Versuchsreihen $\tau = 0{,}88 \frac{q^2}{S}$.

Die Wärmemenge, welche durch die Entladung einer electrischen Batterie im Schliessungsdrahte hervorgebracht wird, steht im zusammengesetzten Verhältnisse der Quantität und Dichtigkeit der angehäuften Electricität.

416. Einfluss der Beschaffenheit des Schliessungsbogens auf die Wärmeerzeugung in einem bestimmt ausgewählten und unveränderlichen Theile desselben. So überaus gross die Geschwindigkeit ist, womit die Entladung einer electrischen Batterie vor sich geht, so weiss man doch, dass ein gewisses Maass von Zeit dazu erforderlich ist; und man weiss auch, dass Vermehrung des Leitungswiderstandes dieses Maass vergrössert (363). Um den Einfluss der Verzögerung auf die wärmende Kraft des Stromes kennen zu lernen, untersuchte Riess

den Wärmeeffect, welchen ein und derselbe Platindraht im Lufthermometer bei unveränderter Beschaffenheit des Schliessungsbogens hervorbrachte. In den Kreis des letzteren wurde zu dem Ende ein Henley'scher Auslader eingeschaltet, zwischen dessen Arme Drähte von bekannten Dimensionen nach einander eingeklemmt wurden. Denkt man sich nun den Widerstand des Schliessungsbogens bei unmittelbarer Verbindung beider Arme des Ausladers als Maass-Einheit, so wird jeder Zusatzdraht zu dieser Einheit einen Bruchtheil hinzufügen, dessen Grösse von der Länge, der Dicke und dem Stoffe des zugesetzten Drahtes abhängig ist.

Im Lufthermometer befand sich ein Platindraht von 86‴,2 Länge und 0‴,0792 Dicke. In den Kegelklemmen des Ausladers wurde Kupferdraht von 0‴,29 Dicke befestigt. Je nach der Länge dieses Drahtes und bei gleichbleibender Quantität und Dichtigkeit der Ladung wurden unter vielen andern wohl übereinstimmenden Resultaten die folgenden erhalten (Pogg. Ann. B. 43. S. 65):

Länge des Kupferdrahts. l. Par. Fuss.	Stand des Lufttherm. τ	a
0	12,5	
9,6	11,0	0,0142
49,0	7,7	0,0130
98,4	5,4	0,0134
147,7	4,3	0,0129
246,4	3,0	0,0129

Die Erwärmung nimmt ab, wenn die Drahtlänge zunimmt. Setzt man die Zunahme des Widerstandes für jeden Fuss Kupferdraht $= a$, und nimmt man an: dass die Wärmeentwicklung im Lufthermometer abnimmt, in demselben Verhältnisse, in welchem der Leitungswiderstand sich vergrössert, so ist:

$$1 : (1 + al) = \tau : 12{,}5.$$

Die Uebereinstimmung der mittelst dieser Gleichung berechneten Werthe von a in der dritten Spalte, rechtfertigt obige Voraussetzung.

Zur Bestimmung des Einflusses der Dicke des Schliessungsdrahtes sind unter andern die folgenden Versuche mit Platindrähten von ungleicher Dicke angestellt worden.

Drahtlänge. Par. Lin.	Drahtdurchmesser. Par. Lin.	τ	a
0		21,6	
144	0,232	19,7	0,0000361
144	0,153	17,8	0,0000347
144	0,100	14,6	0,0000336
17	0,065	18,9	0,0000359

Die Entfernung beider Kugeln der Maassflasche betrug bei die-

sen, gleich wie bei allen vorhergehenden Versuchen 1‴; die Quantität der Electricität entsprach jedesmal 8 Entladungen und war auf 4 Flaschen vertheilt. a bezeichnet die Widerstands-Vermehrung durch Zusatz eines Drahtstücks von 1 Linie Länge und 1 Linie Durchmesser. Die gut übereinstimmenden Werthe von a sind nach der Gleichung $1 : \left(1 + \frac{al}{d^2}\right) = \tau : 21{,}6$ berechnet worden. $\frac{l}{d^2}$ bedeutet die auf den Durchmesser 1 reducirte Länge eines eingeschalteten gleichartigen Drahtes; $\frac{al}{d^2}$ die dadurch bewirkte Vergrösserung des Leitungswiderstandes.

Aufschluss über das Verhalten ungleichartiger Drahtmasse geben die folgenden von Riess (Pogg. Ann. B. 45. S. 4) mitgetheilten Erfahrungen. Die Entfernung beider Kugeln der Maassflasche betrug ½ Linie; die Electricitätsmenge entsprach jedesmal 14 Entladungen auf 4 Flaschen vertheilt. Der im Luftthermometer ausgespannte Platindraht hatte bei 59‴,25 Linien Länge 0,08196 Lin. Durchmesser. In den Kegelklemmen des Ausladers wurden nach einander befestigt:

Draht von	Länge; Linien	Durchmesser	τ	γ
Platina . .	34,67	0,08196	16,8	
„ . .	87,26		12,4	
„ . .	143,50		9,8	1
Silber . . .	110,08	0,08072	19,9	0,1038
Kupfer . .	141,60	0,08390	18,5	0,1548
Gold . . .	125,00	0,07867	18,1	0,1742
Messing . .	99,80	0,08534	15,1	0,5611
Eisen . . .	68,00	0,08383	14,6	0,8787
Zinn . . .	48,00	0,08339	15,3	0,9481
Nickel . . .	61,80	0,08400	13,6	1,1795
Blei . . .	38,50	0,08354	14,7	1,5020
Cadmium . .	84,90	0,08029	16,7	0,4042
Palladium .	65,30	0,08303	14,8	0,8531
Neusilber .	58,40	0,08008	11,3	1,7525

Aus den drei ersten Angaben mit Platindrähten und vermittelst der Proportion

$$\left(1 + \frac{l}{n d^2}\right) : \left(1 + \frac{l'}{n d_{,}^2}\right) = T_{,} : \tau$$

findet man die Zahl n $\left(\text{es ist } n = \frac{1}{a}\right)$, womit die auf den Durchmesser 1 reducirte Länge eines Platindrahts, nämlich $\frac{l}{d^2}$, dividirt werden muss, um den Widerstand dieses Drahtes als Bruchtheil

vom Leitungswiderstande des übrigen Theils des Schliessungsbogens ausdrücken zu können. Man erhält durch Verbindung

des ersten mit dem zweiten Versuche $n = 16975$
des zweiten mit dem dritten Versuche $n = 16922$
des dritten mit dem ersten Versuche $n = 16863$

Das Mittel dieser drei Werthe 16920 an die Stelle von n in die Proportion $1 : \left(1 + \frac{l}{n d^2}\right) = \tau : x$ gesetzt, lässt sich die Anzeige x des Lufthermometers für den Leitungswiderstand 1, d. h. für den Fall berechnen, dass beide Arme des Henley'schen Ausladers in unmittelbare Verbindung treten. Man findet $x = 22{,}2$. Mit Hülfe dieses Werthes und der Proportion

$$1 : \left(1 + \frac{l}{16920\, d^2}\right) = \tau : 22{,}2$$

lässt sich nun für jeden beliebig gewählten Thermometerstand τ die reducirte Länge $\frac{l}{d^2}$ eines Platindrahtes bestimmen, bei dessen Einschaltung in den Schliessungsbogen, welcher für sich den Leitungswiderstand 1 bewirkt, jene Anzeige T des Lufthermometers erhalten werden müsste.

Diese Betrachtungen auf die unter dem Einflusse verschiedenartiger Metalldrähte erhaltenen Wärmeeffecte angewendet, und berücksichtigend dass die reducirte Länge, z. B. des Silberdrahtes beträgt $\frac{110{,}08}{(0{,}08072)^2} = 16891$; kann man fragen: welche auf denselben Durchmesser reducirte Länge Platindraht würde anstatt des Silberdrahtes eingeschaltet werden müssen, damit der Wärmeeffect umgeändert, nämlich $T = 19{,}9$ bliebe? Die Antwort ist $\frac{l}{d^2} = 1753$. D. h. eine Länge von 1753 Platindraht verzögert den Entladungsschlag der Batterie eben so stark als ein Silberdraht von gleicher Dicke aber 16891 Länge. Der eigenthümliche Leitungswiderstand des Platins verhält sich folglich zu dem des Silbers, bei gleicher Länge und Dicke der Drähte wie 16891 : 1753, oder auch wie 1 : 0,1038, wenn der Widerstand des Platins als Einheit genommen wird. Sämmtliche in der mit γ überschriebenen Spalte aufgezeichneten Werthe, sind auf diese Weise berechnet worden. Mit Hülfe dieser Daten können nunmehr auch die in der Tabelle enthaltenen Anzeigen des Lufthermometers durch Rechnung controllirt werden, indem man in der Proportion

$$1 : \left(1 + \frac{l\gamma}{16920\, d^2}\right) = T : 22{,}2$$

für l und d die Dimensionen eines beliebigen Drahtes für γ seinen eigenthümlichen Leitungswiderstand setzt.

Der eigenthümliche Leitungswiderstand eines Stoffes ist das Umgekehrte seiner Leitfähigkeit; z. B. die Leitfähigkeit des Silbers ist $\frac{16891}{1753} = 9{,}6$. Die bereits Seite 284 angeführten Zahlen sind so gefunden worden, nur dass man dort nicht die dem Platin, sondern die dem Kupfer entsprechende Zahl als Einheit gewählt hat.

Die bis dahin gewonnenen Resultate zusammengefasst gelangt man zu dem Ausdrucke

$$\tau = \frac{\alpha \cdot q \cdot q}{S\left(1 + \frac{l\gamma}{n d^2}\right)}$$

Die Wärmeerzeugung in einem Drahte, der Bestandtheil des Schliessungsbogens ist, steht im zusammengesetzten Verhältnisse der Quantität und Dichtigkeit der Ladung und verhält sich umgekehrt wie die auf vergleichbares Maass reducirte Länge sämmtlicher Theile des Schliessungsbogens.

417. Abhängigkeit des Wärmeeffectes von der Entladungszeit. Wir wissen aus dem Ohm'schen Gesetze, dass die Menge Electricität, welche in der Zeiteinheit durch den Schliessungsdraht einer galvanischen Kette geht, bei gleichbleibendem Widerstande der electromotorischen Kraft proportional ist; oder anders gesagt: ein gegebenes Quantum Electricität bedarf zu seinem Abflusse einer Zeit, die sich in demselben Verhältnisse verkürzt, in welchem die electromotorische Kraft zunimmt. Das Maass der electromotorischen Kraft ist die electrische Differenz oder die Dichtigkeitsverschiedenheit an beiden Endpuncten der offnen Kette. Wir haben also Grund zu dem Schlusse, dass die Entladungszeit einer electrischen Batterie, bei gleicher electrischer Anhäufung, ebenfalls der Dichtigkeit der Ladung umgekehrt proportional ist; dass mithin das mit der zunehmenden Dichtigkeit der Ladung gesteigerte Erwärmungsvermögen nur Folge ist eines beschleunigten Durchgangs der Electricität. — Die Entladungszeit wächst dagegen in geradem Verhältnisse mit der Länge des auf vergleichbares Maass zurückgeführten Schliessungsbogens. Der Werth $\frac{q}{S\left(1 + \frac{l\gamma}{n d^2}\right)} = \frac{1}{z}$ ist folglich nichts anderes als ein Ausdruck für die Zeit z, während welcher eine gewisse als Einheit angenommene Electricitätsmenge entladen wird; oder vielmehr eine Zusammenstellung der Bedingungen, von welchen diese Zeit abhängig ist. Die Grösse des Wärmeeffectes in ein und demselben durch das Lufthermometer geführten Platindrahte lässt sich nunmehr auf die

folgenden einfachen Bedingungen zurückführen. Die Menge der frei werdenden Wärme nimmt zu, direkt wie die Menge der sich entladenden Electricität und umgekehrt wie die Entladungszeit; oder es ist

$$w = \beta T = \beta . \frac{\alpha q}{z}.$$

418. Abhängigkeit der Erwärmung eines Drahtes von seiner Länge, seiner Dicke und von der Natur seines Stoffes. Um die Erwärmungsfähigkeit zweier Drähte, unabhängig von der Entladungszeit vergleichen zu können, ist es nach dem Vorhergehenden nothwendig, beide gleichzeitig in den Schliessungsbogen zu bringen, dergestalt dass der Leitungswiderstand desselben unverändert bleibt. Um z. B. den Einfluss der Länge zu erfahren, wurden nach einander mehrere Drähte von ungleicher Länge, aber sämmtlich von gleicher Dicke in den Luftthermometer eingeschlossen; in den Kegelklemmen des Ausladers wurde jedesmal ein anderes Stück desselben Drahtes befestigt, von solcher Länge, dass es mit dem Drahte im Thermometer zusammen 129,7 Linien maass. Der Durchmesser betrug 0,0792 Linien.

Wenn nun die Electricitätsmenge, auf 4 Flaschen vertheilt, bei einem Abstande beider Kugeln der Maassflasche von 1‴, jedesmal 7 Entladungen entsprach, wurden nach erfolgter Entladung der Batterie nachstehende Anzeigen des Luftthermometers erhalten (Pogg. Ann. B. 53. S. 55):

Länge des Drahts im Luftth.	τ	berechnete Länge.
123,7	16,2	123,7
96,7	12,3	94,0
67,7	9,1	69,5
42,0	5,6	42,8.

Die erzeugten Wärmemengen verhalten sich wie die Drahtlängen, wie aus den nach dieser Annahme berechneten Längen zu Genüge hervorgeht. Die Wärmemenge der Längeneinheit und folglich auch die Temperatur, zu welcher die einzelnen Drähte durch gleiche Electricitätsmengen bei gleicher Entladungszeit erhoben wurden, blieb demnach bei allen Drähten gleich, oder erwies sich unabhängig von der Länge; ein Resultat, das sich mit Rücksicht auf die ganz gleiche Geschwindigkeit des electrischen Stroms in jedem Querschnitte der Drähte im Voraus erwarten liess.

Um den Einfluss der Drahtdicke zu messen, werden je zwei Drähte von ungleicher Dicke gleichzeitig im Schliessungsbogen und zwar abwechselnd im Luftthermometer und im Auslader eingeschaltet. So wurden z. B. die folgenden Resultate gewonnen (a. a. O. S. 58):

Länge, des Drahtes	Dicke	τ beobachtet	τ berechnet auf gleiche Längen
86,2	0,0792	12,5	15,3
105,4	0,1610	3,7	3,7.

Die Drahtdicken verhalten sich fast genau wie 1 : 2; die Wärmemengen für gleiche Längen beider Drähte wie 4 : 1; sie stehen also im umgekehrten Verhältnisse zu den Quadraten der Durchmesser, oder im einfachen umgekehrten Verhältnisse der Querschnittsflächen beider Drähte.

Da der Draht von vierfachem Querschnitte im Ganzen nur die Wärmemenge $\frac{1}{4}$ lieferte, so ist es einleuchtend, dass in diesem Drahte, in jeder Einheit des Querschnittes nur $\frac{1}{16}$ Wärme frei wurde; d. h. die Temperaturerhöhung in dem Drahte von doppelter Dicke konnte nur $\frac{1}{16}$ von derjenigen betragen, zu welcher der Draht von einfacher Dicke, unter übrigens ganz gleichen Umständen gelangt war. Die Temperaturen zu welchen gleichartige Metalldrähte von ungleicher Dicke durch gleiche Electricitätsmengen und bei gleicher Entladungszeit erhoben werden, verhalten sich also umgekehrt wie die vierten Potenzen ihrer Durchmesser und sind unabhängig von den Längen der Drähte. Die grössere Wärmeerzeugung in dem Drahte von halber Dicke hat darin ihren Grund, weil durch die Einheit seines Querschnittes eine viermal so grosse Electricitätsmenge in viermal kürzerer Zeit gehen muss, als durch die Einheit des Querschnittes im dickeren Drahte.

Drückt man die Temperaturerhöhung durch den Entladungsschlag in Graden des Quecksilberthermometers aus, so zeigt sie sich im ganzen Umfange der von Riess mitgetheilten Beobachtungen nur unbeträchtlich. Für Platindrähte lässt sie sich annähernd mittelst der Formel

$$T = \frac{\tau}{135{,}5}\left(\frac{4{,}537}{l\,r^2} + 1\right)$$

berechnen, welche jedoch nur für ein Lufthermometer wie das von Riess gebrauchte, dessen Kugel bei 15° C, und dem mittleren Barometerstande 0,5813 Grm. Luft enthält, Geltung hat. Z. B. für den Draht von 86,2 Lin. Länge und 0,0792 Durchmesser, für welchen also $r = 0{,}0396$, $\tau = 12{,}5$; findet man $T = 3°{,}19$ Cels. Die 10fache Electricitätsmenge bei derselben Dichtigkeit würde eine Temperaturerhöhung von 31°,9, bei doppelter Dichtigkeit, von 63°,8 hervorgebracht haben.

Bei ungleichartigen Drähten hängt die Wärmeerzeugung insbesondere noch von der Eigenthümlichkeit des Stoffes ab. Um diesen Einfluss kennen zu lernen, verglich Riess einen Platindraht

von 59‴,25 Länge und 0‴,08196 Durchmesser mit Drähten von anderem Stoffe, z. B. mit einem Silberdraht von 110‴,08 Länge und 0‴,08072 Durchmesser, auf die schon vorher beschriebene Weise, so dass abwechselnd Platin und Silber im Lufthermometer eingeschlossen wurde.

	τ	$\frac{l}{d^2}$
Platin	19,9	8820
Silber	4,2	16891.

Entfernung beider Kugeln der Maassflasche ½ Linie; 14 Entladungen, auf 4 Flaschen vertheilt. (Pogg. Ann. B. 45. S. 16.)

Die auf gleiche Dicke reducirten Längen beider Drähte verhalten sich wie 8820 : 16891 oder wie 1 : 1,915.

Der Platindraht, bei gleicher Dicke und gleicher Länge mit dem Silberdraht, würde eine der Zahl 19,9 . 1,915 = 38,1 proportionale Wärmemenge erzeugt haben. Die Wärmeentbindung im Platin und Silber verhalten sich also wie 38,1 : 4,2 oder wie 1 : 0,1102, d. h. wie der Leitungswiderstand des Platins zum Leitungswiderstande des Silbers.

Auf ähnliche Weise findet man, dass auch in andern Metalldrähten das Quantum erzeugter freier Wärme dem eigenthümlichen Leitungswiderstande des Stoffs proportional ist.

Die im Schliessungsdraht einer Batterie durch die electrische Entladung frei werdende Wärmemenge lässt sich daher allgemein durch die Formel bestimmen:

$$w = \beta \frac{\alpha q}{x} \cdot \frac{l\gamma}{d^2}$$

Die Menge der in einem beliebigen, durch seine ganze Länge gleichartigen Theile des Schliessungsbogens entwickelten Wärme, steht im graden Verhältnisse der sich entladenden Electricitätsmenge und im umgekehrten der Entladungszeit. Sie nimmt zu verhältnissmässig mit der Länge und dem eigenthümlichen Leitungswiderstande des Stoffs des Drahtes und vermindert sich verkehrt wie das Quadrat seines Durchmessers.

$\frac{l\gamma}{d^2}$ ist das was man den reducirten Leitungswiderstand eines Drahtes nennt. Man kann daher auch sagen: die Wärmeerzeugung im Umfange eines jeden einzelnen der verschiedenen Drähte, welche gleichzeitig Bestandtheile desselben Schliessungsbogens ausmachen, steht in geradem Verhältnisse zu dem Widerstande, welchen jeder einzeln einem electrischen Strome entgegensetzt.

419. Ungeachtet in der umfangreichen Arbeit, über welche in dem Vorhergehenden Rechenschaft gegeben ist, nur die Wärmewirkungen des Entladungsschlages der Batterie in Betracht genommen sind, so war doch zu vermuthen, dass die abgeleiteten Gesetze für electrische Ströme von jeder andern Quelle ganz gleiche Geltung haben müssten. Durch neuere Versuche von Lenz hat diese Folgerung eine experimentelle Bestätigung gefunden. (Pogg. Ann. B. 61. S. 18.)

Der Draht, dessen Erwärmungsvermögen studirt werden sollte, wurde durch ein Glasgefäss geleitet, welches nachher mit reinem Wasser oder mit Weingeist ganz angefüllt wurde, so dass alle Theile des Drahtes von der Flüssigkeit umgeben waren und folglich der ganze Wärmeeffect des ersteren von der letzteren aufgenommen werden musste. Alle übrigen Theile des Schliessungsbogens waren so gewählt, dass sie durch den electrischen Strom nicht bemerkbar erwärmt werden konnten. Ging nun ein Strom von bekannter und beständiger Stärke durch den Draht, so erwärmte sich die Flüssigkeit und ein darin eingetauchtes Thermometer zeigte die während einer abgemessnen Zeit erhaltne Temperaturerhöhung. Daraus liess sich dann die Temperaturerhöhung für die Einheit der Zeit berechnen, welche, wie leicht einzusehen, der innerhalb derselben Zeit freigewordenen Wärmemenge proportional ist. Auf diesem Wege hat Lenz nachgewiesen, dass in Metalldrähten von verschiedner Länge und Dicke und verschiedenem Stoffe, unter dem Einflusse gleichstarker galvanischer Ströme und in gleichen Entladungszeiten Wärmemengen frei werden, die den reducirten Leitungswiderständen dieser Drähte proportional sind; dass aber die Wärmeentwicklung in ein und demselben Drahte bei verschiedener Stromstärke sich verhält wie das Quadrat der Stromstärke. Es ist also ganz so wie es schon Riess für den Fall einer electrischen Anhäufung auf stets gleichbleibender Oberfläche gezeigt hatte:

$$w = a q^2 \frac{l \gamma}{d^2}$$

Da die durch einen constanten Strom bewirkte Wärmeentbindung eine beliebige Zeit in unveränderter Stärke fortdauern kann, so steigt die Temperatur des Drahts so lange, bis die in jedem Augenblicke gewonnene Wärme dem gleichzeitigen Verluste nach Aussen gleich ist. Es sey $\pi d l$ die Umfangsfläche eines Drahtes, ε der Wärmeverlust für die Flächeneinheit und 1^0 Temperaturdifferenz; t diejenige Temperaturerhebung des Drahts über die Temperatur der Umgebung, wobei eine vollständige Ausgleichung statt findet, so ist $\pi d l \varepsilon t = a q^2 \frac{l \gamma}{d^2}$

$$\text{daher } t = \frac{a}{\pi \varepsilon} \cdot \frac{q^2 \gamma}{d^3}$$

Ein in der Luft ausgespannter Draht, der von einem constanten Strom durchlaufen wird, erreicht eine Temperaturhöhe, welche direkt dem eigenthümlichen Leitungswiderstande seines Stoffes und dem Quadrate der Stromstärke, aber umgekehrt der 3ten Potenz seines Durchmessers proportional ist. Länge des Drahts und Wärmecapacität seiner Masse sind ohne Einfluss auf die Stärke des Erglühens.

Die Drahtlänge ist ohne Einfluss hierauf, insofern man Mittel besitzt, die Stromstärke q constant zu erhalten. Da aber für einen gegebnen Electromotor mit der Länge des eingeschalteten Drahts auch der Widerstand zunimmt und folglich die Stromstärke sich mindert, so ist es einleuchtend, dass kurze Drähte bei gleicher Dicke leichter zum Glühen kommen als längere. Gesetzt man bedarf zwei constante Elemente um einen Platindraht von gewisser Länge und Dicke zum Glühen zu bringen, so wird man n mal 2 Paare anwenden müssen, wenn ein gleich dicker aber n mal so langer Draht zu derselben Temperatur erhoben werden soll. Diess ergibt sich nach dem Vorhergesagten als eine einfache Folge des Ohm'schen Gesetzes.

420. Durch die Erwärmung eines Leitungsdrahtes vermindert sich seine Leitfähigkeit. Gesetzt es befinde sich im Kreise einer electrischen Kette ausser dem Galvanometer und dem Regulatordraht noch ein dünnerer Draht eingeschlossen. Man umgebe den letzteren mit Eiswasser, damit seine Temperatur unter dem Einflusse der bewegten Electricität nicht bedeutend erhöht werden kann und regulire den Strom zu einer beliebigen Stärke. Wird die abkühlende Umgebung entfernt, so erhitzt sich der dünne Draht und es muss Regulatordraht abgewunden werden um die anfängliche Stromstärke wieder zu erhalten, um so mehr je stärker sich der eingeschaltete Leiter erhitzt.

Dieser Einfluss der Erwärmung erklärt die folgenden von H. Davy ersonnenen Versuche: Platindraht wird durch einen Strom von passend regulirter Stärke zum beginnenden Rothglühen gebracht; dann erhitzt man eine Stelle dieses Drahtes mittelst der Spiritusflamme bis zum Weissglühen, sogleich vermindert sich die Glühehitze des übrigen Theils und hört selbst ganz auf. Wird dagegen eine Stelle des rothglühenden Drahtes stark abgekühlt, so gelangt der übrige Theil zu einer gesteigerten Glühehitze.

Lenz hat die Leitfähigkeit mehrerer Metalle bei verschiedenen Temperaturen gemessen. (Zu vergleichen N. 460.) Das Hauptresultat seiner Arbeit ist in der folgenden Tabelle enthalten.

	Leitungsfähigkeit für Electricität bei		
	0^0	100^0	200^0
Silber	136,25	94,45	68,72
Kupfer	100,00	73,00	54,82
Gold	79,79	65,20	54,49
Zinn	30,84	20,44	14,78
Messing	29,33	24,78	21,45
Eisen	17,74	10,87	7,00
Blei	14,62	9,61	6,76
Platin	14,16	10,93	9,02

Man sieht hieraus dass die Leitfähigkeit der Metalle durch Temperaturveränderung sehr bedeutend, aber bei verschiedenen Metallen sehr ungleich verändert wird. Nach derselben Methode, deren Principien jedoch erst später erläutert werden können, sind die folgenden Bestimmungen bei $15^0 R$ gemacht worden. Leitungsfähigkeit des

Kupfers = 100
Antimons = 8,87
Wismuths = 2,58
Quecksilbers = 4,66.

421. Um die galvanischen Glüh-Phänomene in Vorlesungen zu zeigen, eignen sich Platin- und Eisendrähte, weil sie zu den schlechteren Leitern gehören, vorzugsweise. Die gewählten Drahtstücke müssen mit den metallischen Enden der Batterie in möglichst gut leitende Verbindung gebracht werden, die man mittelst Schraubenklemmen oder auch durch mehrmaliges Umwickeln und sorgfältiges Reinigen an den Berührungsstellen leicht erhalten kann. Lässt man mehrere Stücke von Platin- und Kupferdraht, beide von gleicher Dünne mit einander abwechseln, so erglühen sämmtliche Platinstücke bei einer Stromstärke, wobei die Kupferdrähte sich wohl erhitzen aber nicht zum Glühen kommen. Mittelst einer kräftigen Kohlenbatterie von wenigstens 20 — 30 Paaren kommt Eisendraht N. 6. auf 2 — 3 Fuss Länge fast momentan zum Weissglühen und zerfällt unmittelbar darauf in zahllose glänzende Kügelchen. Stahlfedern verbrennen mit Funkensprühen, ähnlich wie im Sauerstoffgase. Quecksilber beginnt im Augenblicke des Eintauchens der Poldrähte mit lebhafter Flamme zu brennen. — Wenn man die Enden der Poldrähte mit einem Stückchen Eisendraht verbindet und Schiesspulver darauf streut, so entzündet sich dasselbe im Augenblicke des Schliessens der Kette. Man hat dieses Entzündungsmittel mit dem besten Erfolge benutzt um das Sprengen von Felsen, besonders unter Wasser, nicht nur zu erleichtern sondern auch weit gefahrloser zu machen. Die Leitungs-

drähte, dicke Kupferdrähte und nur durch ein kurzes Stückchen Eisendraht zusammenhängend, sonst überall aufs sorgfältigste (z. B. durch Umwickeln des einen Drahts mit Papier) getrennt erhalten, werden in das Bohrloch eingesetzt, man schüttet die erforderliche Menge Pulver zu und füllt den Rest des Loches mit Sand aus. Man kann den Draht auf diese Weise zugleich durch mehrere Ladungen führen, die dann, im Augenblicke da man die Kette schliesst, alle gleichzeitig abbrennen. Vier Kohlen-Zink-Paare sind zu diesem Gebrauche gewöhnlich hinreichend.

Die Hitze zwischen den Polen grösserer Batterien von 30 und mehr Paaren ist so gross, dass man in kleinen Tiegeln gebildet aus Coaks oder aus derselben Masse, woraus die Kohlencylinder verfertigt werden, die schwerflüssigsten Metalle in Mengen von mehreren Grammen sehr bald zum Schmelzen bringen kann.

Wenn der Strom einer solchen kräftigen Säule zwischen Kohlenspitzen übergeht, so entwickelt sich ein Lichtglanz der dem des Sonnenlichtes kaum nachsteht. Die Verbrennung der Kohle hat keinen Antheil an dieser Erscheinung, denn dieselbe findet im leeren Raume noch in verstärktem Grade statt. Die präparirte Kohle der Kohlencylinder eignet sich sehr gut zu diesem Versuche; Holzkohle stark ausgeglüht und dann in Wasser abgelöscht gibt aber nach de la Rive das schönste Licht.

Sind die Kohlenspitzen durch Berührung einmal zum Glühen gebracht, so lassen sie sich je nach der Stärke der Batterie von einigen Linien bis auf mehrere Zolle von einander entfernen, ohne dass die Fortdauer des Stroms unterbrochen wird. Dabei bemerkt man zwischen beiden Spitzen einen leuchtenden Bogen und ein Ueberführen glühender Theilchen vom positiven zum negativen Pole. Mit einer grossen Batterie von 2000 Paaren erhielt H. Davy in der Luft einen Lichtbogen von 4 Zoll, im leeren Raume von 7 Zoll Länge. Dieselbe Erscheinung nur in sehr verminderter Stärke zeigt sich auch zwischen Metallspitzen; auch hier scheint der Lichtbogen durch den Uebergang glühender materieller Theilchen gebildet zu seyn.

Es ist bestimmt nachgewiesen worden dass die dünnste messbare Luftschicht zwischen den Polen, selbst ziemlich grosser electrischer Säulen den Uebergang des Stroms vollkommen unterbricht, dass also die electrische Spannung an den Polen nicht gross genug ist, um das Ueberspringen eines Funkens durch die Luft möglich zu machen (Jakobi in Pogg. Ann. 44. 633). Der Schliessungs- und Trennungsfunke der galvanischen Kette kann folglich nur in einem durch den Uebergang des Stroms bewirkten Erglühen, zuweilen auch Verbrennen der äussersten Berührungspuncte bestehen, vollkommen ähnlich dem Erglühen eines feinen Drahtes, der die Enden einer galvanischen Kette verbindet.

Da der überschlagende Funke stark gespannter Electricität ebenfalls von einer bedeutenden Temperaturerhöhung begleitet ist (319), so haben einige Physiker die Meinung geltend zu machen gesucht, dass das Leuchten während des Uebersprungens durch ein Erglühen der Lufttheile bewirkt werde; andere halten für wahrscheinlicher, dass das electrische Licht durch glühende fortgeführte Theile des Leiters selbst, aus dem es hervorbricht, entstehe. Für die erstere Ansicht spricht der Umstand, dass die Färbung des electrischen Lichtes in verschiedenartigen Gasen und Dämpfen nicht immer dieselbe bleibt und dass der Glanz desselben in verdichteter Luft zunimmt, in verdünnter sich vermindert.

Thermoelectricität.

422. Eine geschlossene Metallkette, z. B. ein Kupferdraht, dessen beide Enden durch einen Streifen Zink verbunden sind, gibt bekanntlich keinen electrischen Strom, weil die erregenden Kräfte (wenn man so will: die electrischen Gefälle) an beiden Berührungsstellen sich im Gleichgewichte halten. Die geringste Temperaturverschiedenheit stört jedoch dieses Gleichgewichtsverhältniss und bewirkt das Auftreten eines electrischen Stroms.

Man setze die beiden Enden eines Multiplicatordrahts, ohne sie zu erwärmen, in Berührung mit einem Stücke irgend eines andern Metalls, und nachdem man sich von der Abwesenheit electrischer Ströme überzeugt hat, erwärme man die eine Verbindungsstelle. Die Nadel wird bald aus ihrer Ruhelage abgelenkt werden und, je nach dem Grade ihrer Empfindlichkeit und der Stärke der Erwärmung einen mehr oder weniger grossen Bogen beschreiben; nach der rechten oder linken Seite, je nach dem die Temperatur der einen oder der andern Berührungsstelle erwärmt worden war. Man kann diesen Versuch beliebig oft wiederholen; der Erfolg bleibt immer gleich, und zwar ohne irgend eine früher oder später sichtbar werdende Mitwirkung chemischer Veränderungen. Diess stellt sich am deutlichsten dann heraus, wenn man beide Metalle zusammengelöthet hatte.

423. Zur Hervorbringung dieser Art der Berührungselectricität können die verschiedenartigsten Metall-Verbindungen gebraucht werden; Richtung und Stärke des entwickelten Stroms lassen sich jedoch nicht wie bei den galvanischen Ketten aus der chemischen Natur der verbundenen Leiter vorhersehen.

Man bringe eine Antimonstange zwischen beide Enden des Multiplicator-Kupferdrahts und erwärme die eine Berührungsstelle. Der hierdurch erzeugte Strom bewegt sich von dieser Stelle aus durch das Antimon zu der nicht erwärmten Berührungsstelle und kehrt durch den Kupferdraht zu seinem Ursprunge zurück. Vertauscht man das Antimon mit Wismuth, so findet das

Umgekehrte statt, d. h. der Strom geht jetzt von der erwärmten Stelle durch den Kupferdraht zu der nicht erwärmten. Wird der Multiplicatordraht durch ein Antimon-Wismuth-Paar geschlossen, so dass drei Uebergangspuncte entstehen nämlich: Kupfer-Antimon, Antimon-Wismuth und Wismuth-Kupfer, und erwärmt man immer nur eine derselben, während die beiden andern kalt bleiben, so geht der Strom von der erwärmten Stelle im ersten Falle zunächst in die Antimonstange, im zweiten ebenfalls in die Antimonstange, also in einer der vorhergehenden entgegengesetzten Richtung, im dritten nach derselben Richtung wie im ersten Falle, nämlich von der erwärmten Stelle in den Kupferdraht.

Die erregenden Kräfte in der ersten und dritten Berührungsstelle unterstützen sich hiernach, wenn beide Puncte zugleich erwärmt werden. Da nun durch gleichzeitige und gleichstarke Temperaturerhöhung sämmtlicher Uebergangspuncte gar kein Strom entsteht, so muss man schliessen, dass die erregende Kraft an dem zweiten gleich ist der Summe der erregenden Kräfte an dem ersten und dritten. Hatte man dafür gesorgt, die Temperatur-Unterschiede bei diesen Versuchen stets gleich zu erhalten; war z. B. je eine Verbindungsstelle der Temperatur des siedenden Wassers ausgesetzt, während man die beiden andern mit schmelzendem Eise umgab, so erweist sich in der That die Summe der Stromstärken, welche durch Erwärmung der Berührungsstelle Kupfer-Antimon und dann Wismuth-Kupfer erhalten wird, gleich der Stärke des durch Erwärmen der Stelle Antimon-Wismuth erzeugten Stroms.

Irgend zwei andere Metalle statt Antimon und Wismuth mit dem Multiplicatordraht verbunden zeigen im Allgemeinen ein ähnliches Verhalten, d. h. man wird immer finden, dass die durch Temperaturverschiedenheit bewirkte electrische Erregung an einer Berührungsstelle, gleich ist der Summe der unter denselben Umständen an den beiden andern Stellen eintretenden Erregungen.

Wird die geschlossene Kette des Multiplicatordrahts aus einer grösseren Zahl Metalle in willkührlicher Folge zusammengesetzt; z. B. Kupfer, Antimon, Wismuth, Zinn, Eisen, Silber u. s. w., so ändert sich, je nach der Wahl der Verbindungsstelle die man erwärmt, Richtung und Stärke des Stroms, immer jedoch ist das durch eine bestimmte Temperaturverschiedenheit herbeigeführte electrische Uebergewicht einer Berührungsstelle gleich der algebraischen Summe der durch dieselbe Temperaturerhöhung bewirkten Erregungen aller übrigen Stellen.

Wenn man Stäbe von den folgenden Metallen: Wismuth, Platin, Zinn, Blei, Messing, Gold, Kupfer, Silber, Zink, Eisen, Arsenik, Antimon, in der Ordnung, wie sie hier nach einander gesetzt sind, an einander löthet, so gehen die durch Erwärmung der Löthstellen erzeugten Ströme sämmtlich nach gleicher Richtung, nämlich in der Richtung vom Wismuth abwärts zum Antimon. Die durch

gleichzeitige Erwärmung aller zwischen Wismuth und Antimon liegenden Uebergangspuncte erhaltene Stromstärke ist folglich die grösste welche mit Hülfe der genannten Metalle überhaupt erreicht werden kann. Sie ist gleich und entgegengesetzt der durch Erwärmung der Verbindungsstelle Antimon-Wismuth (während nämlich alle andern kalt bleiben) gebildeten Stromstärke.

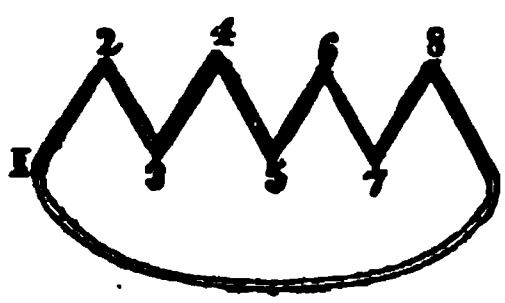
Antimon und Wismuth bilden also die Endpuncte einer Reihe, der sogenannten thermoelectrischen Reihe, welche das Eigenthümliche hat, dass ein beliebiges Glied derselben, wenn sein Berührungspunct mit einem der folgenden Glieder erwärmt wird, einen electrischen Strom von der erwärmten Stelle zu diesem folgenden Metalle sendet. Die Stellung der verschiedenen Metalle in der thermoelectrischen Kette ist bei weitem noch nicht mit genügender Vollständigkeit ermittelt. Der Grund liegt wohl darin, weil der Rang, den ein Metall in der Reihe behauptet, durch fremde Beimischungen sogleich, und oft sehr bedeutend verändert wird. Beimischungen, in der Masse eines Metalls ungleich vertheilt, sind höchst wahrscheinlich auch die Ursache, warum manche anscheinend gleichartige Metallstäbe, an gewissen Stellen erwärmt, schwache electrische Ströme hervorbringen.

Da die Antimon-Wismuth-Kette die kräftigsten thermoelectrischen Erregungen zulässt, so werden diese beiden Metalle zur Bildung thermoelectrischer Ketten vorzugsweise verwendet. Beide sind jedoch schlechte Leiter; die gewählten Stäbe müssen desshalb kurz und dick seyn. Wenn man an beiden Enden eines Stabs von Antimon oder Wismuth, von 6 Zoll Länge und 4—6 Linien Dicke, einen dicken, in Form eines Rechtecks (Fig. 169) gebognen Kupferdraht einschmilzt, und die eine Löthstelle mit der Spiritusflamme erhitzt, so wirkt der hierdurch erzeugte Strom unmittelbar auf eine in der Mitte des Rechtecks schwebende Magnetnadel.

Fig. 169.

424. Die Triebkraft der thermoelectrischen, am besten der Antimon-Wismuth-Kette lässt sich bedeutend vergrössern, wenn man Stäbe, abwechselnd von dem einen und andern Metalle auf einander folgen lässt, so geordnet, dass alle geraden Löthstellen nach einer Seite, alle ungeraden nach der andern gekehrt sind. Eine solche Vorrichtung (Fig. 170) wird thermoelectrische Säule genannt. Es ist einleuchtend, dass durch Erwärmung der einen Seite derselben, z. B. aller geraden Löthstellen, die hierdurch entstehenden erregenden Kräfte einander unterstützen.

Fig. 170.



Verbindet man die Endpuncte der Säule mit dem Multiplicatordraht, und erwärmt zuerst nur eine einzige Verbindungsstelle, z. B.

die zweite, während alle übrigen einer beständigen niederen Temperatur ausgesetzt bleiben, dann die zweite und vierte gleichzeitig, dann drei ähnlich liegende zugleich u. s. w., so ergibt sich, dass die entsprechenden Stromstärken sich verhalten wie die Zahlen der erwärmten Löthstellen. In allen Fällen erhält man Ströme von unveränderlicher Stärke, so lange die Temperaturunterschiede unverändert erhalten werden.

Wegen dieser Beständigkeit der thermoelectrischen Ströme und der Leichtigkeit, sie erforderlichen Falls genau von derselben Stärke immer wieder zu erhalten, eignen sie sich vorzugsweise zum Studium des Ohm'schen Gesetzes. In der That ist dasselbe vom Dr. Ohm zuerst mit Hülfe der thermoelectrischen Ströme nachgewiesen worden und man hat einige Zeit geglaubt, dass es auch nur für solche Ströme Geltung hätte, bis die Möglichkeit, beständige Ströme auch durch Galvanismus zu erzielen, jeden Zweifel in dieser Hinsicht entfernte.

Die thermoelectrische Kette und ihre Wirkungen auf die Magnetnadel sind vom Dr. T. J. Seebeck im Jahre 1822 entdeckt worden.

425. Die bewegende Kraft der thermoelectrischen Ketten, verglichen mit derjenigen einer gewöhnlichen Volta'schen Säule ist ganz ausserordentlich gering; Bewegungshindernisse, Leitungswiderstände, welche bei der letzteren kaum oder gar nicht wahrnehmbar sind, können daher bei den ersteren nicht mehr unbeachtet bleiben. Alle Uebergangsstellen müssen durch möglichst innige Berührung rein metallischer Flächen, am besten durch Zusammenlöthen bewerkstelligt, alle Verbindungsdrähte so kurz wie möglich und dick seyn. Multiplicatordrähte (Kupfer- oder Silberdrähte), welche vorzugsweise zum Messen thermoelectrischer Ströme dienen sollen, erhalten gewöhnlich bei einer Länge von 150 bis höchstens 200 Umwindungen eine Dicke von ungefähr 1 Millimetre. Multiplicatoren aus sehr langen und dünnen Drähten gefertigt, die sich durch ihre grosse Empfindlichkeit gegen die geringsten Spuren galvanischer Einwirkungen auszeichnen, sind als Anzeiger thermoelectrischer Ströme fast unbrauchbar.

Wenn es sich darum handelt, eine möglichst grosse Einwirkung auf die Nadel zu erreichen, erfordert eigentlich jede besondere Art electrischer Ketten auch eine besondere Beschaffenheit des Multiplicatordrahts; denn Stoff und Gewicht der Drahtmasse einmal bestimmt, lehrt das Ohm'sche Gesetz, dass ein Maximum des Effectes erhalten wird, wenn der Leitungswiderstand aller Multiplicatorwindungen zusammengenommen eben so viel beträgt wie derjenige der electrischen Kette mit Einschluss ihrer Verbindungsdrähte*). Im Inneren einer Thermo-Kette, bei welcher gewöhn-

*) Es sey R der reducirte Leitungswiderstand sämmtlicher Theile einer geschlossenen Kette, mit Ausnahme des Multiplicatordrahts; n die Anzahl Windungen, nl die ganze Länge des letzteren; f der Querschnitt des Drahts, w der Leitungswiderstand seines Stoffes, endlich K die Triebkraft des Stroms, so lässt sich die Grösse der ablenkenden Kraft des Multiplicators darstellen durch

$$Q = \frac{nK}{R + \frac{nlw}{f}}$$

lich nur Metallverbindungen vorkommen, kann der Leitungswiderstand nicht sehr gross seyn und wird desshalb von dem des Multiplicatordrahts, wenn dieser nicht kurz und dick ist, leicht übertroffen. Dagegen galvanische Ketten von geringer Wirksamkeit, z. B. eine Zink-Kupferkette mit Wasser, äussern gewöhnlich schon in ihrem eignen Umfange einen so grossen Leitungswiderstand, dass vergleichungsweise der eines, wenn auch dünnen Metalldrahts kaum in Betracht kommt. Die Multiplicatordrähte müssen also in diesem Falle sehr lang und von sehr geringem Durchmesser seyn um eben so viel Widerstand wie die Kette selbst zu bewirken.

426. Die thermoelectrischen Ströme, ungeachtet der geringen Stärke ihrer Triebkraft, sind fähig auch flüssige Leiter zu durchdringen, wovon man sich leicht überzeugt, wenn man neben der Flüssigkeit einen recht empfindlichen Multiplicator in die Kette einschliesst. Eine Auflösung von Kupfervitriol in welche Kupferstreifen eingetaucht sind, oder Zinkvitriol mit eingesenkten Zinkstreifen, gestatten selbst dem wenig intensiven durch Einwirkung einer Oelflamme auf eine Säule von 30—40 Antimon-Wismuth-Paaren erregten Strom mehrere Stunden hindurch einen unveränderten Durchgang. Die dabei eintretende Zersetzung geht indessen, wenn auch unverkennbar, doch nur sehr langsam vor sich. Es ist nun schon einleuchtend, dass verdünnte Schwefelsäure, als der bessere Leiter, noch leichter von dem Thermo-Strome durchdrungen wird, und diess zeigt auch die Erfahrung. Wegen der Polarisation der Platinstreifen erfolgt jedoch eine rasche Verminderung der Stromstärke, wodurch der direkte Nachweis der Wasserzersetzung erschwert wird. Schwefelsäure ist daher nicht die geeignetste Flüssigkeit um als Beweismittel zu dienen, dass dem thermoelectrischen Strome die Fähigkeit, chemische Zersetzungen zu bewirken, nicht fehlt.

Wenn man Muskel und Nerv eines präparirten Froschschenkels mit zwei Drähten desselben Metalls berührt, und die direkte Verbindung der beiden andern Drahtenden keine Bewegung des Froschschenkels mehr hervorbringt, so kann derselbe durch Ein-

---

Es sey ferner das Gewicht der Drahtmasse: $G = nlf\gamma$; (γ bezeichnet ihre Dichtigkeit) daher $f = \frac{G}{nl\gamma}$. Wird dieser Ausdruck von f in die vorhergehende Gleichung substituirt, so erhält man:

$$Q = \frac{nK}{R + \frac{n^2 l^2 w\gamma}{G}} = \frac{KG}{l^2 w\gamma} \times \frac{n}{\frac{RG}{l^2 w\gamma} + n^2}$$

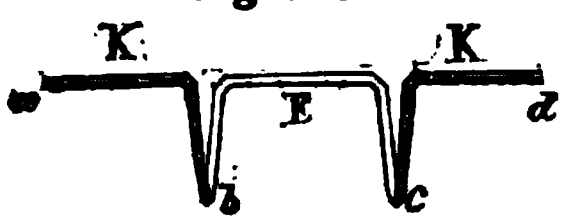
Man findet nun leicht, dass Q ein Maximum wird für $n^2 = \frac{RG}{l^2 w\gamma}$, d. h. wenn der Multiplicatordraht so gewählt wird, dass sein Widerstand dem des übrigen Theils der Kette gleichkommt.

führung eines thermoelectrischen Stroms noch in starkes Zucken gerathen. Nach Nobili entsteht ein solches Zucken selbst dann schon, wenn man das freie Ende des einen der mit Muskel und Nerv verbundenen Drähte erhitzt und mit dem andern nicht erhitzten in Berührung setzt.

Weit schwieriger ist es, Spannungswirkungen der thermoelectrischen Säule zu erkennen, denn sie sind so gering, dass sie, durch den Condensator verstärkt, selbst auf das feinste Goldblattelectrometer keinen Eindruck hervorbringen. Mit Hülfe eines sehr empfindlichen Bohnenberger'schen Electroscops ist jedoch die dem Condensator ertheilte Ladung deutlich wahrnehmbar, wenn man dazu eine Säule von 32 Antimon-Wismuth-Paaren gewählt und die eine Hälfte der Löthstellen mit siedendem Wasser erhitzt, die andere stark abgekühlt hatte. Ungeachtet dieser äusserst schwachen Spannung ist es durch besondere Vorkehrungen gelungen, mit der Thermo-Säule electrische Funken zu erhalten. (Pogg. Ann. B. 41. S. 160.)

427. Man macht von den thermoelectrischen Strömen eine höchst wichtige Anwendung zur Entdeckung und Messung feiner Temperaturunterschiede. Ein dicker Draht oder Streifen, so wie Fig. 171 zeigt, gebogen und aus drei Stücken, z. B. Eisendraht der an den beiden Enden *b* und *c* mit Kupferdraht in Berührung steht, zusammengesetzt, werde mit den Multiplicatorwindungen eines zur Prüfung thermoelectrischer Ströme zweckmässig ausgeführten Galvanometers mit astatischer Doppelnadel verbunden. Man umgebe die eine Löthstelle z. B. *b* mit schmelzendem Eise, die andere mit reinem Wasser von folgeweise höherer Temperatur. Die Nadel wird bei jeder Aenderung des Temperaturunterschiedes eine andere feste Stellung einnehmen und die ihren Ablenkungen entsprechenden Stromstärken werden sich verhalten wie die Temperaturunterschiede selbst; so lange wenigstens als man die Gränze von 50^0 nicht überschreitet (Becquerel). Für geringere Intervalle von höchstens 5 — 6 Graden findet man, von der absoluten Temperaturhöhe sogar ganz unabhängig, eine genaue Proportionalität zwischen den Temperaturanwüchsen und den dadurch erzielten Stromstärken. (Melloni in Pogg. Ann. B. 38. S. 16.)

Fig. 171.



Die beschriebene Vorrichtung ist also ein wirkliches Differenzialthermometer, dessen Angaben aus den Ablenkungen einer Magnetnadel erkannt werden.

Hat man zu der Thermokette *a b E c d* dicke Drähte von geringer Länge gewählt, so bedarf auch der Multiplicator nur wenige Windungen eines dicken Kupferdrahts. Ist zudem die Doppelnadel fast astatisch und nur an einem wenigstens 5 — 6 Zoll

langen Coconfaden aufgehängt, so gewinnt man ein Differenzialthermoscop von überraschender Empfindlichkeit. In der That ist es leicht dahin zu kommen, dass eine Temperaturdifferenz beider Löthstellen von nur einem Grade die Nadel um 20 und mehr Grade ablenkt.

Oft gelingt es nicht, die Nadel befriedigend astatisch zu machen. Man thut dann wohl, einen kräftigen geraden Magnetstab in der Richtung des magnetischen Meridians und in passender Entfernung von dem Galvanometer so aufzustellen, dass die Wirkung des Erdmagnetismus, so weit es erforderlich scheint, entkräftet wird.

Durch Anwendung der Thermo-Säule anstatt eines einzigen Paares lässt sich die Empfindlichkeit noch weit höher treiben. Die Figur 172 gibt eine Ansicht, die Figur 173 einen Längendurch-

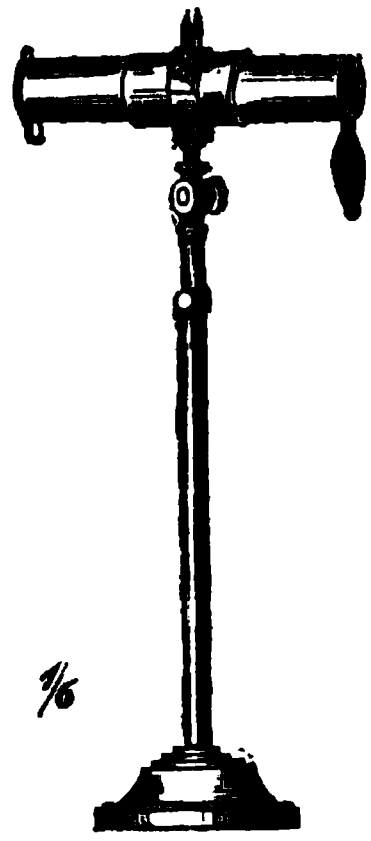
Fig. 172.

Fig. 173.

schnitt in natürlicher Grösse einer vorzugsweise zu diesem Zwecke bestimmten Säule. Sie besteht aus 35 Paaren Antimon- und Wismuthstäben von prismatischer Form, abwechselnd unter sehr scharfen Winkeln an einander gelöthet, so dass sie einander nur an den Löthungsstellen berühren, und in mehreren parallelen Reihen geordnet, die an den benachbarten Enden zusammenhängend, eine einzige Metallkette bilden. Hierdurch erhält das Ganze die Figur eines prismatischen Stabs mit ebenen Endflächen von 4,25 Quadratcentimetre. Die eine dieser Endflächen enthält alle geraden, die andere alle ungeraden Löthstellen. Die einzelnen Stäbe haben eine Länge von 32 Millimetre bei 2,5 mmtre Breite

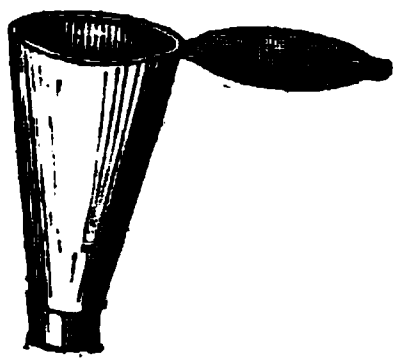
und 1 mmtre Dicke. Um sie in der beschriebenen Lage dauernd zusammenzuhalten, sind sie in einen Ring von Messing eingeschoben und mit Kork darin befestigt. Ein gegen die Richtung der Stäbe senkrechter und mit einem Gelenke versehner Stiel (Fig. 174) an diesem Ringe wird in einen aufrecht stehenden Träger eingelassen und kann darin mittelst einer Schraube in verschiedenen Höhen festgestellt werden. Diese Anordnung macht es möglich, die Säule in jede beliebige Richtung zu bringen und dadurch die eine ihre Flächen dem Einflusse einer Wärmequelle so gegenüberzustellen, dass die andere davon nicht getroffen werden kann. An der oberen Seite des Ringes befinden sich zwei etwas konisch zulaufende Stifte, welche die Ausgänge der Säule bilden. Sie werden mit den Enden des Multiplicatordrahts verbunden, so oft man das Instrument in Thätigkeit setzen will. Die Einrichtung dieser Thermosäule ist hauptsächlich darauf berechnet, die Einwirkungen der aus mehr oder weniger entfernt liegenden Quellen ausgehenden parallelen Wärmestrahlen zu messen. Um nun im Laufe eines Versuchs alle seitwärts und zufällig zuströmende Wärme abhalten zu können, ist an jeder Seite des Ringes ein 6 Centimetre langes, mit einem Deckel versehenes und inwendig geschwärztes Rohr angebracht. Beabsichtigt man dagegen die von irgend einem wärmeren Gegenstande ausgehenden Strahlen auf der einen Fläche der Säule in möglichst grosser Menge aufzufangen, so vertauscht man das eine cylindrische Rohr mit einem kegelförmigen Reflector von polirtem Messing (Fig. 175), von 12 — 15 Centimetre Länge und 20^0 — 25^0 Steigung der Seiten.

Fig. 174.



1/6

Fig. 175.



Richtet man diesen Reflector in einem Abstande von 20 und mehr Fussen gegen einen warmen Ofen, oder hält man in einiger Entfernung die Hand vor denselben, so gibt sich die dadurch bewirkte Erwärmung der einen Fläche der Säule sogleich durch einen starken Ausschlag der Nadel zu erkennen. Die verschiedenen Wände eines Zimmers besitzen gewöhnlich nicht ganz gleiche Temperatur, dreht man nun den Reflector gegen die eine oder andere Wand, so wird man fast immer eine Ablenkung wahrnehmen, bald eine Erhöhung, bald eine Erniedrigung der Temperatur unter die mittlere der Säule anzeigend.

Durch die Verbindung des Multiplicators mit der Thermo-Säule, beide in den richtigen Verhältnissen ausgeführt, ist es, wie man sieht, gelungen ein Differenzialthermometer von ganz ausseror-

dentlich grosser Empfindlichkeit darzustellen. Nobili, der den Gebrauch desselben zuerst eingeführt hat, hat ihm den Namen Thermo-Multiplicator gegeben. Eine Vergleichung seiner Empfindlichkeit mit der des Leslie'schen Differenzialthermoscops, welche ganz zum Vortheile des ersteren ausgeht und aus der es wahrscheinlich wird, dass die empfindlichsten Thermo-Multiplicatoren noch $^1/_{6000}$ eines Reaumür'schen Grades anzeigen, findet man in Pogg. Ann. B. 27. S. 455.

428. Der thermoelectrische Strom theilt mit der bewegten Electricität aus jeder andern Quelle die Eigenschaft, die Leiter welche er durchdringt zu erwärmen. Die Wärmeentbindung ist allerdings in den meisten Fällen zu gering, um deutlich wahrnehmbar zu seyn, weil die Thermoströme wegen der geringen Stärke ihrer Triebkraft nur von dicken Drähten in bedeutender Menge durchgelassen werden. Sie lässt sich gleichwohl nachweisen, wenn man den Strom durch ein Luftthermometer führt, in welchem ein dünner Platindraht ausgespannt ist, oder auch indem man diesen oder irgend einen andern dünnen der Kette eingeschalteten Draht der einen Fläche einer recht wirksamen Thermo-Säule so nahe wie möglich bringt. Die Richtung, in welcher der Strom durch den Draht geht, hat keinen Einfluss auf den Grad seiner Erwärmung.

Peltier hat die merkwürdige Beobachtung gemacht, dass die Verbindungsstelle zweier ungleichartiger Metallstücke je nach der Richtung des Stroms eine ungleiche Temperatur annimmt. Diese Erscheinung zeigt sich übrigens nicht nur unter dem Einflusse thermoelectrischer, sondern überhaupt aller electrischer Ströme, nur dürfen sie verhältnissmässig zum Querschnitte der Leiter keine grosse Intensität haben, weil die immer statt findende Erwärmung der die Löthstelle begränzenden Theile beider Metalle unter dem Einflusse starker Ströme eine so beträchtliche Höhe erreicht, dass dadurch das eigenthümliche Verhalten der Löthstelle selbst leicht verdeckt wird. Man bemerkt dieses Verhalten in sehr auffallendem Grade an den Löthstellen einer Thermo-Säule aus Antimon- und Wismuthstäben, deren Ausgangspuncte man zuvor mit dem Multiplicator verbunden hatte, bis völliges Gleichgewicht der erregenden Kräfte eingetreten war. Wird nämlich irgend ein schwacher electrischer Strom wenn auch nur einige Augenblicke durch diese Säule geleitet, dann unter Abschluss der Stromquelle die Verbindung mit dem Multiplicator wieder hergestellt, so findet jezt eine starke Ablenkung der Nadel statt, rechts oder links, je nach der Richtung in welcher der electrische Strom durch die Säule geführt worden war.

Um die Beschaffenheit der hierbei auftretenden Temperaturveränderungen näher zu prüfen, stelle man zwei Thermo-Säulen einander so nahe gegenüber, dass ihre zugewendeten Löthstellen fast

in Berührung kommen. Die eine (*a*) verbinde man sodann mit dem Multiplicator, durch die andere (*b*) leite man den Strom eines Daniell'schen Zink-Kupferpaars. Die Nadel des Galvanometers wird sich sogleich in Bewegung setzen, und zwar im Sinne einer Erwärmung der einander zugewendeten Flächen beider Instrumente, so oft der Strom durch die betreffenden Löthstellen der Säule (*b*) in der Richtung vom Antimon zum Wismuth seinen Lauf nimmt, dagegen im Sinne einer Temperaturerniedrigung, wenn die Richtung des Stroms die umgekehrte ist. Die im letzteren Falle eintretende Abkühlung ist übrigens so beträchtlich, dass es nicht des Thermo-Multiplicators bedarf um sie wahrzunehmen; legt man das cylindrische Behälter eines gewöhnlichen Quecksilberthermometers auf die durch die Löthstellen gebildete Fläche, so sinkt der Quecksilberfaden ungeachtet die Wärmemittheilung unter diesen Umständen nur sehr unvollkommen seyn kann, um einen halben bis zu einem ganzen Grade.

Es leuchtet hieraus ein, dass der durch eine thermoelectrische Kette gehende Strom abwechselnd die eine Löthstelle erwärmt und die andere abkühlt und zwar in der Weise, dass dadurch eine erregende Kraft im entgegengesetzten Sinne der ursprünglichen hervorgebracht wird.

Peltier entdeckte ein derartiges Verhalten ganz allgemein an den Berührungsstellen von je zweien ungleichartigen Metallen. Immer nämlich zeigte sich der Grad der Erwärmung einer Löthstelle nicht bloss von der Stärke, sondern auch von der Richtung des Stroms abhängig. Jedoch nicht bei allen Verbindungsweisen gelang es je nach der Stromrichtung abwechselnd Wärme oder Kälte zu erzeugen.

(Ann. de Ch. et de Ph. 56. auch Dove Repertor. I. S. 351.)

Durch das eigenthümliche Verhalten der Löthstelle zweier Metalle wurde Lenz zu dem folgenden bemerkenswerthen Versuche geleitet: Zwei viereckige Stangen von Wismuth und Antimon von 0,4 Zoll Seite wurden am einen Ende an einander gelöthet, und an der Löthstelle selbst ein Loch eingebohrt. Die Stange wurde, mit Ausnahme der Löthstelle mit schmelzendem Schnee umgeben und das Loch mit Wasser gefüllt. Letzteres so wie die Stange selbst erhielt dadurch bald die Temperatur von 0°. Als hierauf ein electrischer Strom die Stange von W. nach A. durchlief, gefror das Wasser nach 5 Minuten vollständig, dabei sank die Temperatur desselben auf — 3°,5.

428. b. Pyro-Electricität (Wärme-Electricität krystallinischer Körper). Gewisse krystallinische Körper besitzen die Eigenschaft, durch Temperaturveränderung electrisch zu werden. Dieses Verhalten darf jedoch mit den vorher betrachteten thermoelectrischen Erscheinungen, womit es, wenn man von der äusseren Veranlassung seines Auftretens absieht, nichts gemein zu haben scheint, nicht verwechselt werden.

Man nennt einen Krystall pyroelectrisch, wenn er während einer Aenderung seiner Temperatur die beiden Electricitäten an

bestimmten Stellen hervortreten lässt. Je zwei solcher entgegengesetzt electrischer Stellen werden Pole genannt, und eine Linie, welche zwei Pole verbindet, electrische Axe des Krystalls. An jedem der beiden Pole einer Axe treten nach einander beide Electricitäten auf, indem nämlich ein Pol, der während der Erwärmung die eine Electricitätsart zeigt, bei der Abkühlung die entgegengesetzte frei werden lässt. Wird die Temperatur desselben Körpers, gleichgültig bei welcher Höhe, beständig erhalten, so bleibt er unelectrisch. Man kennt jetzt eine ziemlich beträchtliche Anzahl, jedoch wie es scheint nur unsymmetrisch gebildete Krystalle, welche das Vermögen besitzen pyroelectrisch zu werden. Sie kommen theils natürlich vor, wie Turmalin, dessen pyroelectrisches Verhalten schon in früher Zeit bekannt war, Kieselzinkerz, Axinit, Titanit, Schwerspath, Bergkrystall, Topas, Borazit, Rhodizit u. a. m.; theils sind sie künstlich erzeugt, wie Zucker, Weinsäure, neutrales weinsaures Kali. Gewöhnlich besitzen sie nur eine electrische Axe; einige wie Borazit und Rhodizit besitzen deren auch mehrere.

Starke Grade der Electricität finden sich besonders bei hell gefärbten und durchsichtigen Turmalinkrystallen, welche im Inneren rein und nicht klüftig sind. Die electrische Axe des Turmalins fällt mit der krystallographischen Axe seines sechsseitigen Prisma's zusammen. Ihre electrische Polarität lässt sich aus der ungleichen Einwirkung beider Endpuncte auf das Electroscop (am besten das Bohnenberger'sche) leicht erkennen, wenn der zuvor gleichmässig erwärmte Krystall in der Mitte mit einer Zange gefasst und dann das eine oder andere Ende an den Stift des Electroscops gelegt wird. Zerstückelt man einen polarisch gewordenen Turmalin, so zeigt, während noch die Temperatur im Sinken begriffen ist, jedes einzelne Stück dieselbe Polarität, und zwar gewöhnlich mit verhältnissmässig stärkerer Intensität, als der ganze Krystall. Sogar das durch Zerstossen des Krystalls gebildete Pulver wird electrisch, während seine Temperatur steigt oder sinkt; so dass man vermuthen muss, dass die kleinsten Krystalltheilchen die Fähigkeit besitzen polarisch zu werden. — Aepinus hat zuerst das pyroelectrische Verhalten des Turmalins erkannt, welches später von Häuy und Brewster auch bei andern Krystallen beobachtet wurde. Die neuesten Untersuchungen über diesen Gegenstand verdankt man Becquerel (Pogg. Ann. 13. 628), Köhler (P. A. 17. 150), G. Rose (P. A. 39. 285), Hanckel (P. A. 49; 50; 53; 56 u. 61), G. Rose u. P. Riess (P. A. 59. 351; 61. 659).

Electromagnetismus.

429. Von den Wirkungen electrischer Ströme auf die Magnetnadel ist früher nur so weit die Rede gewesen, als nöthig war um den Gebrauch der hierauf gegründeten Messinstrumente verstehen zu können. Bekannt mit den erforderlichen Hülfsmitteln um Ströme von vollkommner Beständigkeit, so wie von beliebiger Stärke und Dauer hervorzubringen, wollen wir jetzt die electromagnetischen Erscheinungen und ihre Gesetze mit grösserer Ausführlichkeit studiren.

Um zuerst die Richtung der magnetischen Kraft des Stroms unmittelbar und unabhängig von jedem fremden Einflusse kennen zu lernen, nehmen wir eine astatische, z. B. die Schmidt'sche astatische Magnetnadel und führen einen geradlinigten Kupferdraht durch welchen der Strom geht gleichlaufend mit ihrer Schwingungsebne. Es bezeichne *aδ* (Fig. 176) die Stellung des Drahts gegen die um ihren Mittelpunct *o* schwingende Nadel; der Pfeil die Richtung des Stroms. Die Nadel wird sich nach einigen Oscillationen winkelrecht gegen die Stromlinie stellen; der Nordpol zur Linken oder Rechten ihres Stützpunctes, je nachdem der Strom über oder unter der Schwingungsebne läuft. Nur in einem einzigen Falle, wenn nämlich der Draht in die Schwingungsebne selbst zu liegen kommt, bleibt die Nadel astatisch; d. h. die Wirkung des Stroms auf dieselbe ist Null, während in den beiden zuerst betrachteten Lagen des Drahts entgegengesetzte Wirkungen eintraten.

Fig. 176.

Dieses Verhalten lässt keine andere Erklärung zu als die, dass die bewegte Electricität in der Richtung ihrer Bewegung selbst keine magnetische Kraft äussert, dass vielmehr die Richtung ihrer Wirksamkeit gegen einen beliebigen Magnetpol, auf der durch diesen Pol und die Stromlinie gebildeten Ebne rechtwinklig steht, so zwar, dass der Pol bei freier Beweglichkeit und wenn es ein Nordpol ist, links von der Ebne getrieben wird, dagegen rechts, wenn es ein Südpol ist *).

Wir wollen die durch einen Magnetpol und durch eine gerade Stromlinie, ihrer Lage nach festbestimmte Ebne, die Wirkungsebne des geradlinigten Stroms bezogen auf diesen Pol nennen.

430. Wenn die Pole einer Magnetnadel aus einer gegebnen Schwingungsebne nicht heraustreten sollen, so kann die Stromkraft, welche gegen die Wirkungsebne des Stroms senkrecht gerichtet ist, gewöhnlich nicht zur vollen Wirksamkeit gelangen. Sie lässt sich im Allgemeinen aus zwei Theilen zusammengesetzt betrachten; der eine, winkelrecht gegen die Schwingungsebne der Nadel gerichtet, bleibt ohne Wirkung, und nur der andere, gleichlaufend mit dieser Ebne kommt zum Effecte.

Fig. 177.

Es sey *m* (Fig. 177) ein Magnetpol, *mα* eine Linie in seiner Schwingungsebne, auf welcher die Ebne *acm* senkrecht errichtet

*) Die Bezeichnungen rechts und links beziehen sich hier auf die schon früher (N. 366) hervorgehobene Vorstellungsweise.

ist, c ein Punct der Stromlinie, welche letztere die Ebne acm winkelrecht durchschneidet, das Stromelement in c wird hierdurch der Schwingungsebne parallel gesetzt; $im = I$ bezeichne die magnetische Kraft des Stroms, endlich $\alpha = cma$ den durch die Wirkungsebne mit der Schwingungsebne gebildeten Winkel. Die Kraft im zerfällt in die Seitenkräfte $mK = I \sin\alpha$ und $iK = I\cos\alpha$; von denen nur die erstere den Pol beschleunigt, so lange bis die magnetische Axe der Nadel welcher er zugehört sich gleichlaufend mit der Linie am gestellt hat. Beide Werthe können übrigens je nach der Grösse des Winkels α und seiner Lage über oder unter der Schwingungsebne, positiv, negativ und Null werden. — Die Aenderungen in der Richtung und Grösse der magnetischen Wirksamkeit eines geradlinigten Stroms auf eine Magnetnadel, mit deren Schwingungsebne er parallel geführt ist, lassen sich hiernach für jede Aenderung ihrer wechselseitigen Stellung bestimmt und im Voraus übersehen (zu vergl. 366).

Wenn der geradlinigte Strom die Schwingungsebne der Nadel rechtwinklig durchschneidet, so steht auch die durch seine Richtung und den einen oder andern Pol gelegte Ebne rechtwinklig darauf. Die ganze Stromkraft fällt daher in die Schwingungsebne selbst und strebt der Nadel eine solche Stellung zu geben, dass ihre magnetische Axe eine durch ihren Mittelpunct und die Stromlinie gezogne Ebne winkelrecht durchschneidet, weil diess die einzige Lage ist, in welcher die gegen beide Pole gerichteten Kräfte von gleicher Grösse und in ihren Wirkungen entgegengesetzt sind.

Fig. 178.

Bildet der Kupferdraht AB Fig. 178 durch welchen der Strom geht mit der Schwingungsebne snd einen beliebigen Winkel, so kann Richtung und Grösse des wirksamen Theils der gegen einen Magnetpol s gerichteten Stromkraft auf folgende Weise ermittelt werden: Man erhebe von dem Puncte s der Ebne ABs, deren Lage durch die Stromlinie und den Magnetpol s fest bestimmt ist, die Senkrechte si; sie bezeichnet die Richtung der ganzen Stromkraft. Man fälle auf die Schwingungsebne das Loth ik, und setze $is = I$; so findet man die gesuchte Seitenkraft $ks = I\cos isk$; deren Richtung dadurch bestimmt ist,

dass kn auf dn, der Durchschnittslinie der beiden Ebnen snk und ABn winkelrecht stehen muss. Man verlängere kn nach s hin und ziehe auf der Ebne ABn die Linie nA winkelrecht gegen dn, so ist $snA = \alpha$ der Neigungswinkel der beiden Ebnen dnk und ABn. Es ist aber α die Ergänzung des Winkels ink zu 90°, daher $I \cos ink = I \sin \alpha$.

Der wirksame Theil der Kraft, die ein geradliniger Strom gegen einen Magnetpol ausübt, gegen dessen Schwingungsebne er beliebig geneigt ist, verhält sich also wie der Sinus des Winkels welchen seine Wirkungsebne mit der Schwingungsebne bildet und steht senkrecht auf der Durchschnittslinie beider Ebnen.

Wenn der Strom an einer Magnetnadel vorübergeht, deren Grösse im Vergleiche zum kürzesten Abstande der Stromlinie sehr gering ist, so kann man eine durch die Stromlinie und die Mitte der Nadel gelegte Ebne, ohne viel zu fehlen, als die Wirkungsebne für beide Pole annehmen. Der eine Pol wird demnach durch die Kraft $+ I \sin \alpha$*) der andere durch die Kraft $- I \sin \alpha$ beschleunigt. Beide Kräfte vereinigen sich der Nadel eine Stellung winkelrecht auf die Durchschnittslinie der Ebnen zu ertheilen, weil in diesem Falle ihre magnetische Axe mit der Richtung der Kräfte zusammenfällt.

Man denke sich in der Wirkungsebne, vom Stützpuncte der Nadel als Mittelpunct einen Kreis gezogen; der geradlinigte Strom werde, ohne die angenommene Wirkungsebne zu verlassen, an verschiedenen Puncten der Peripherie dieses Kreises als Tangente vorübergeführt, seine Einwirkung auf die Nadel wird stets, sowohl der Richtung wie der Grösse nach dieselbe bleiben.

431. Da erfahrungsmässig jedes Stück eines Stromleiters magnetische Kraft äussert, so folgt von selbst, dass die magnetische Wirkung eines electrischen Stroms aus den Wirkungen der einzelnen Theile oder Elemente desselben zusammengesetzt ist. Es sey AB (Fig. 179) ein geradliniger Strom, s ein benachbarter frei beweglicher Magnetpol. Die Richtung der Abstossung die ein beliebiges Stromelement ab gegen denselben ausübt, wird aus der Lage der Wirkungsebne abs erkannt und bleibt folglich für alle Elemente des Stroms AB gleich. Nicht so ist es mit der Stärke der Einwirkung.

Fig. 179.

Vorher (429) wurde bewiesen, dass ein Strom

*) Wenn der Werth $I \sin \alpha$ für die Mitte der Nadel gilt, so ist von den beiden auf die Pole wirkenden Kräften, die eine um ein geringes grösser als $I \sin \alpha$, die andere, ihrem absoluten Werthe nach, näherungsweise um eben so viel kleiner. In der Summe ihrer Drehungsmomente heben sich daher diese Unterschiede beider Kräfte auf.

auf einen in seiner Richtung selbst befindlichen Magnetpol keine Wirkung ausübt. Wir sind berechtigt dieses Erfahrungsgesetz auch auf die Theile eines Stroms anzuwenden und müssen demnach annehmen, dass jedes Stromelement winkelrecht auf seine Richtung (z. B. das Element ab nach der Linie mm') seine grösste Wirkung hervorbringt. In Beziehung auf einen Magnetpol n, dessen geradlinigte Entfernung bn mit der Stromlinie den Winkel $Bbn = \varphi$ bildet, lässt sich das Element ab gleichsam aus zwei Theilen, ag und ah zusammengesetzt betrachten, von welchen nur die Kraft $ag = ab \sin\varphi$ den Pol zu bewegen strebt, während $ah = ab \cos\varphi$ in die Richtung der Linie an fällt und daher für die Wirkung auf den Punct n verloren geht.

Wenn diese Ansicht der Sache die richtige ist, muss ein Strom, der nach einer gewissen Hauptrichtung in Schlangenwindungen fortschreitet, wie $acdbp$ Fig. 180 auf einen benachbarten Magnetpol m gerade so wirken, wie ein in gleichem Abstande nach derselben Richtung gehender geradlinigter Strom aq; beide in entgegengesetztem Sinne laufend müssen einander aufheben. Es ist nämlich deutlich, dass der wirksame Theil gh eines Stromstückes ab genau denselben Werth erhält, ob der Strom den kürzesten Weg ab oder den gekrümmten $acdb$ wählt. Folglich muss auch die Einwirkung auf den Punct m in beiden Fällen gleich seyn, vorausgesetzt nur, dass die Krümmungen so klein sind, dass der Abstand des Punctes m von verschiedenen Puncten sowohl des geraden wie des gekrümmten Stromstücks ab beiläufig als gleich angenommen werden darf. In der That findet man, dass ein Strom, der bei p in die Schlangenwindungen eindringt und durch die Gerade aq wieder zurücklauft, eine nicht allzunahe stehende Magnetnadel in vollkommner Ruhe lässt.

Fig. 180.

Dasselbe findet statt, wenn der Strom nach einer gewissen Hauptrichtung in Schraubenwindungen fortschreitet, deren Durchmesser, verglichen mit dem Abstande des Poles klein sind. Denn denkt man sich die Kraft eines jeden Stromelementes nach der Längenrichtung des Stroms ax (Fig. 181) und den rechtwinklig darauf stehenden Linien ay und az in drei Seitenkräfte zerlegt, so gehen, wie man leicht übersieht, alle nach der Linie ax fallenden Seitenkräfte nach gleicher Richtung vorwärts und ergänzen sich zu der Stromlinie ax von glei-

Fig. 181.

cher Länge wie die Spirale, während die Seitenkräfte nach den Richtungen ay und az in Paare, vorwärts und rückwärts, aufwärts und niederwärts gehender Ströme von gleicher Länge und Stärke zerfallen, und daher ihre Wirkungen auf den Magnetpol m wechselsweise aufheben müssen.

432. Wir dürfen nach dem Vorhergehenden als erwiesen annehmen, dass der wirksame Theil eines Stromelementes $a\delta$ (Fig. 182), beziehungsweise zu einem Magnetpole n, dessen Abstand an mit der Bewegungsrichtung des Elementes $a\delta$ den Winkel φ erzeugt nur den Werth $a\delta \sin\varphi$ besitzt.

Fig. 182.

Es sey nun $ac = s$ ein Stück eines Stroms von unbegränzter Länge, $a\delta = ds$ ein Element desselben; g die absolute Stärke der magnetischen Kraft, ausgeübt von der Einheit der Stromlänge auf die Einheit des freien Magnetismus in dem Abstande $= 1$, so lässt sich der wirksame Theil eines Elementes $a\delta$, bezogen auf die Einheit des freien Magnetismus, ebenfalls in dem Abstande $= 1$ aber in der Richtung der Linie an ausdrücken durch $g.ds.\sin\varphi$. — Nach dem was über die Wirkungen magnetischer Kräfte in die Ferne bekannt ist, war zu vermuthen, dass die Wirkung eines Stromelementes auf einen entfernten Magnetpol sich verhalten werde, wie das Product der magnetischen Kraft des Elementes in den freien Magnetismus (μ) des Pols, und verkehrt wie das Quadrat der Entfernung. Die durch das Element $a\delta$ bewirkte Abstossung des Punctes n musste hiernach seyn $\frac{\mu.g.ds.\sin\varphi}{an^2}$; ein Ausdruck welcher, wenn der senkrechte Abstand nc des Pols von der Stromlinie $= R$, folglich $an = \frac{R}{\sin\varphi}$ gesetzt wird, sich verwandelt in $\frac{\mu.g.ds.\sin^3\varphi}{R^2}$. Berechnet man die Summe der Abstossungen, welche durch das ganze Stromstück $s = ca$ gegen den Pol n bewirkt werden, so erhält man dafür

$$P = \frac{\mu g \cos\varphi}{R} \text{ *).}$$

---

*) Es ist nämlich, da $nc = R$, die Stromlänge $\omega = s = \frac{R}{\operatorname{tng}\varphi}$. Daher $ds = \frac{-R d\varphi}{\sin\varphi^2}$. Diesen Werth von ds in den oben gefundenen Ausdruck $\frac{\mu g ds \sin^2\varphi'}{R^2}$ substituirt und das Integral genommen, erhält man $\rho \frac{-\mu g \sin\varphi d\varphi}{R} = \frac{\mu g \cos\varphi}{R}$; wo keine Constante zuzufügen, weil für $\varphi = 90°$ die Stromlänge zwischen a und c verschwindet, also ihre magnetische Kraft Null wird.

Für einen geradlinigten Strom von unbegränzter Länge wird $\varphi = 0$ und $\cos\varphi = 1$, daher die abstossende Kraft $P = \frac{\mu g}{R}$; d. h. sie steht im geraden Verhältnisse zur Stromstärke und zum freien Magnetismus des Pols und im einfachen umgekehrten des senkrechten Abstandes des magnetischen Punctes von der Stromlinie.

Diese Folgerung, in aller Strenge zwar nur auf einen Punct von freiem Nord- oder Süd-Magnetismus gültig, lässt sich auch auf Magnetnadeln ausdehnen, wenn sie, vergleichungsweise zu ihrer Länge, von der Stromlinie weit abstehen. Aus den nachstehenden Versuchen geht hervor, dass die Einwirkung des electrischen Stroms auf eine Magnetnadel nach diesem Gesetze mit befriedigender Genauigkeit selbst dann schon berechnet werden kann, wenn ihr kürzester Abstand von der Stromlinie nicht mehr als das 4 — 5fache ihrer halben Länge beträgt.

Ein geradlinigter Kupferdraht von 1 Metre Länge oder darüber lief in der Ebne des magnetischen Meridians einer horizontal schwingenden Magnetnadel von 5 Centimetre Länge und parallel mit der Horizontalebne. Leitete man einen constanten Strom durch den Draht, so wurde die Nadel aus ihrem Meridiane um irgend einen Winkel α abgelenkt. Die bei dieser Ablenkung noch wirksame abstossende Kraft $\frac{mg}{R}\cos\alpha$, (m ist das magnetische Moment der Nadel), muss mit der zurückführenden Kraft des Erdmagnetismus im Gleichgewichte stehen,

$$\text{daher } \frac{mg}{R}\cos\alpha = Tm\sin\alpha$$

$$\text{und } \operatorname{tng}\alpha = \frac{g}{RT}$$

Die Tangente des Ablenkungswinkels verhält sich wie die Stromstärke und umgekehrt wie der Abstand des Drahtes von dem Mittelpuncte der kleinen Magnetnadel.

Die Stärke electrischer Ströme lässt sich bekanntlich mit der Tangentenbussole oder mit der Sinusbussole sehr genau messen. Lässt man nun Ströme von verschiedener Stärke durch ein solches Messinstrument und zugleich durch den vorher beschriebenen Apparat gehen, so findet man eine vollkommene Proportionalität in den Tangenten der Ablenkungswinkel beider Magnetnadeln. Als ein Strom, dessen Stärke mittels des Galvanometers und Regulators unverändert erhalten wurde, bei veränderten Abständen R durch den Draht ging, erhielt man:

Abstände	= 1	, 3	, 4	Decimeter
Ablenkungen	= 36°	, 13°,5	, 10°	

Es ist aber $\frac{\operatorname{tng} 36^\circ}{4} = \operatorname{tng} 10^\circ{,}3$; $\frac{\operatorname{tng} 36^\circ}{3} = \operatorname{tng} 13^\circ{,}6$.

Bei diesen Versuchen war der Leitungsdraht gleichlaufend mit der Schwingungsebne und senkrecht unter den Mittelpunct der Nadel gestellt. Eine solche Lage ist jedoch nicht nothwendige Bedingung für die Anwendbarkeit des gefundenen Gesetzes; wesentlich ist nur, dass bei veränderter Grösse von R der Neigungswinkel β, zwischen der Schwingungsebne der Nadel und der Wirkungsebne des Stroms, unverändert bleibe. Der absolute Werth von $\operatorname{tng}\alpha$ würde sich allerdings umwandeln in $\operatorname{tng}\alpha = \frac{g\sin\beta}{RT}$.

Aufgabe: Mit Rücksicht auf die vorgetragenen und als richtig erkannten Lehrsätze wird man jetzt den Einfluss eines beliebigen Systems gerader Drähte, durch welche der Strom geht auf eine entfernte Magnetnadel, durch Rechnung im Voraus zu bestimmen im Stande seyn. Beispielsweise mag die folgende einfache Aufgabe genügen: Ein Strom von gegebner Stärke g durchdringt einen in Form eines Quadrats gebogenen Draht, dessen Ebne die Schwingungsebne einer kleinen horizontalen Magnetnadel lothrecht und parallel mit dem magnetischen Meridian durchschneidet. Die gerade Linie, welche den Mittelpunct der Nadel mit der Mitte des Quadrats verbindet, steht auf der Ebne des letzteren senkrecht. Ihre Länge ist gegeben und gleich b; die Länge einer Quadratseite $= s$. Man findet

$$\operatorname{tng} \alpha = \frac{2 g s^2}{T\left(\frac{s^2}{4} + b^2\right)\sqrt{\frac{s^2}{2} + b^2}}.$$

Ganz allgemein lässt sich der Einfluss eines electrischen Stromes von gegebner Stärke auf die horizontal schwingende Magnetnadel, mag nun der Leitungsdraht eine geradlinigte oder gebogne Gestalt haben, durch Rechnung finden, indem man die bewegende Kraft eines jeden Stromelementes in drei Seitenkräfte zerlegt, von welchen die eine auf der Schwingungsebne senkrecht steht und also wirkungslos ist, die beiden andern dagegen in diese Ebne selbst fallen, und zwar die zweite in die Richtung des magnetischen Meridians der Nadel, die dritte rechtwinklig darauf. Die Summe aller nach der dritten Richtung thätigen Elementarkräfte gibt die Grösse der ablenkenden Kraft, während die dem Meridian parallel gerichteten Kräfte sich zu der rückführenden Kraft des Erdmagnetismus addiren.

Wir heben nur noch einen einzigen Fall, nämlich den des kreisförmig gebognen Stromleiters, wegen seiner praktischen Wichtigkeit hervor.

433. Ein Metallring durch den der Strom geht werde in der Ebne des magnetischen Meridians so aufgestellt, dass seine Axe

Fig 183.

co Fig. 183 (nämlich die von seinem Mittelpuncte c errichtete Senkrechte) durch die Mitte o einer kleinen Magnetnadel geht. Es sey $ao = R$, die Entfernung eines Punctes des Rings von der Nadel, der Radius $ac = a$, folglich $\sin aoc = \frac{a}{R}$, so ist der parallel mit co wirksame Theil der bewegenden Kraft eines Ringelementes $a.d\varphi$ (siehe N. 430) $= \frac{m.g.a.d\varphi}{R^2} . \frac{a}{R}$; wo g die Stromstärke, m das magnetische Moment der Nadel vorstellt. Eben so gross ist die Kraft eines jeden andern Ringelementes; es verhält sich daher die Kraft eines Elementes zu derjenigen des ganzen Ringes wie $d\varphi : 2\pi$, und es ergiebt sich die ganze Kraft, welche die Pole der

Nadel parallel mit der Axe co zu bewegen strebt,

$$= \frac{2\pi g m a^2}{R^3}.$$

Gesetzt der entsprechende Ablenkungswinkel sey α, so hat man

$$\frac{2\pi g m a^2}{R^3} \cos\alpha = m T \sin\alpha$$

und daraus wieder

$$\operatorname{tng}\alpha = \frac{2\pi g a^2}{T R^3}.$$

Dieses Resultat lehrt, dass die Wirkung eines Kreisstroms auf eine entfernt stehende, oder verhältnissmässig kleine Magnetnadel der dritten Potenz ihres Abstandes von der Kreisperipherie umgekehrt proportional ist, wenn die Wirkung eines einzelnen Stromelementes dem Quadrate des Abstandes verkehrt proportional ist*).

Wenn man die Magnetnadel in die Mitte des Ringes stellt, so wie es bei der Tangentenbussole geschieht, wird $a = R$, daher

$$\operatorname{tng}\alpha = \frac{2\pi g}{T R}.$$

Bei der Tangentenbussole wächst also für einerlei Stromstärke die Tangente des Ablenkungswinkels verkehrt wie der Radius des Ringes. Lässt man z. B. den Strom durch einen Ring von doppeltem Halbmesser gehen, so sinkt die Tangente des Ablenkungswinkels auf die Hälfte der anfänglichen Grösse.

Die Nothwendigkeit dieses Verhaltens ergibt sich schon aus der einfachen Betrachtung, dass die bewegende Kraft jedes Ringelementes abnimmt, wie das Quadrat des Radius zunimmt, die Anzahl wirksamer Elemente dagegen im geraden Verhältnisse zur Grösse des Radius steht. Man gewinnt hierdurch ein einfaches Hülfsmittel um das Grundgesetz der magnetischen Wirksamkeit eines Stromelementes in die Ferne in Vorlesungen zu beweisen.

---

*) Die Aehnlichkeit dieses Verhaltens mit demjenigen kleiner Magnetstäbe (378 II.) hat daraufgeführt, in Fällen wo die Länge der Magnetnadel, verglichen mit dem Durchmesser des Ringes, beträchtlich ist, die Grösse des Ablenkungswinkels nach der genaueren Formel

$$\operatorname{tng}\alpha = \frac{2\pi g a^2}{T R^3} + \frac{L}{R^4} \quad \text{zu berechnen.}$$

Es ist einleuchtend, dass wenn man den Werth von tng α für zwei Entfernungen R, immer unter Voraussetzung gleicher Stromstärke g, aufgesucht und daraus L abgeleitet hat, man im Stande ist die Gränze zu bestimmen, bis zu welcher der zweite Theilsatz unbeschadet der Genauigkeit weggelassen werden darf. Auf diese Weise hat sich W. Weber versichert, dass bei der Tangentenbussole die Länge der Nadel den vierten oder fünften Theil des Ring-Durchmessers nicht übersteigen darf. (Pogg. Ann. 55. 27.)

434. Es ist vorher bewiesen worden, dass die Einwirkung eines Kreisstroms, dessen Ebne mit der des Meridians zusammenfällt, auf eine kleine Magnetnadel, welche um einen beliebigen Punct seiner Axe beweglich ist durch die Formel:

$$\text{tng}\,\alpha = \frac{2\pi g a^2}{TR^3}$$

ausgedrückt werden kann. Für einen kleinen Magnetstab gilt unter ähnlichen Bedingungen die Gleichung (378)

$$\text{tng}\,\alpha = \frac{2M}{TR^3}.$$

Der Kreisstrom verhält sich also gegen die Nadel ganz so wie ein kleiner in der Axe aufgestellter Magnetstab, der seinen Nordpol links, seinen Südpol rechts von der Richtung des Stroms hat, dessen Mittelpunct sich vom Mittelpuncte der Nadel in einer Entfernung befindet, welche gleich ist dem Abstande R des Kreisumfangs von der Mitte derselben Nadel und dessen magnetisches Moment $M = \pi a^2 g$.

435. Die galvanometrischen Messungen, so wie sie gewöhnlich ausgeführt werden, geben nur eine Vergleichung verschiedener Stromstärken aber keine absoluten Maasse. Um die absolute magnetische Kraft eines Stroms zu bestimmen ist es begreiflicher Weise nothwendig, den Einfluss eines jeden Elementes desselben auf die Nadel in Rechnung bringen zu können. Dazu sind aber die meisten Galvanometer nicht eingerichtet. Die Gesammtwirkung eines ringförmigen Stromleiters auf die Nadel lässt sich, wie vorher gezeigt wurde, leicht und sicher berechnen. Die Tangentenbussole bietet daher ein Hülfsmittel, die magnetische Kraft eines electrischen Stromes auch ihrem absoluten Werthe nach kennen zu lernen.

In der That, kennt man den Radius des Ringes und die Intensität des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte, so ergibt sich die absolute Stromstärke

$$g = \frac{TR\,\text{tng}\,\alpha}{2\pi}$$

Bei dem Fig. 141 S. 295 abgebildeten Instrumente ist $R = 200{,}65$ Mmtre, und an dem Orte, wo es aufgestellt ist, $T = 1{,}90$. Für diese Bussole gilt daher die Formel: $g = 60{,}71\,\text{tng}\,\alpha$. Würde die Nadel z. B. um 45^0 abgelenkt, so ergäbe sich eine absolute Strominten-sität von 60,71; d. h. ein Metallring, welcher eine 1 □ Mmtre grosse Fläche begränzt, von diesem Strome durchlaufen, dessen magnetisches Moment $\pi a^2 g$ also gleich 60,71 ist, wirkt aus der Ferne auf einen magnetischen Punct oder auf eine Nadel gerade so, nur 60,71 mal stärker, als das Grundmaass des freien Magnetismus an seiner Stelle wirken würde, oder $\frac{60{,}71}{1{,}9}$ mal stärker als der hori-

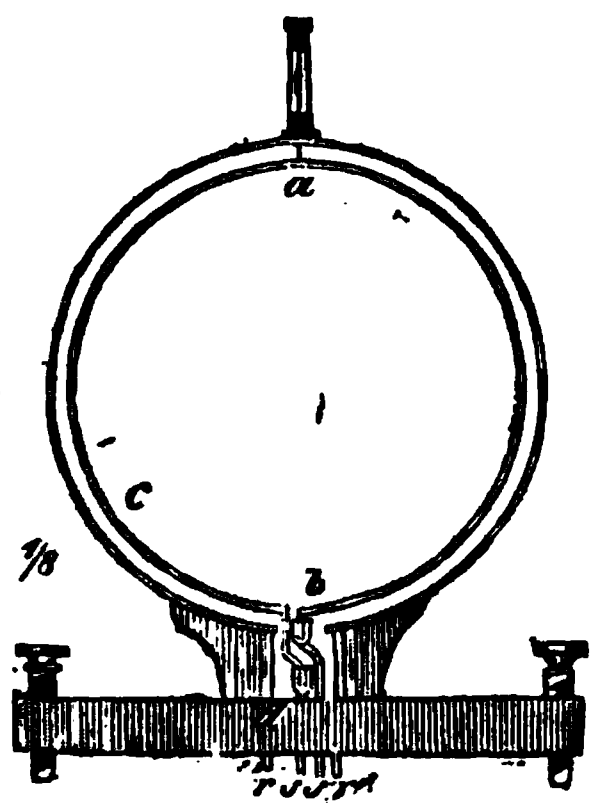
zontale Theil des Erdmagnetismus. Einer trägen Masse von 1 Mllgrm, behaftet mit der Einheit des magnetischen Fluidums, würde dadurch in einer Sekunde bei x Mmtre Entfernung die Geschwindigkeit von $\frac{60{,}71}{x^3}$ Mmtre eingeprägt werden.

Wir sind jetzt leicht im Stande den mechanischen Effect einer beliebigen Electricitätsmenge, etwa von 1 Aequivalent dieses Fluidums, während es sich um das Flächenmaass herum bewegt, zu berechnen. Es ist früher (N. 399) gezeigt worden, dass bei einer Ablenkung der Nadel von α Graden, die Zersetzungszeit für 1 Aequivalent Wasser beträgt: $t = \frac{10000}{5{,}0255 \operatorname{tng} \alpha}$. Soeben wurde gefunden, dass bei derselben Ablenkung α, in einer Sekunde Zeit, der Masseneinheit bei x Mmtre Entfernung, die Geschwindigkeit $g = 60{,}71 \frac{\operatorname{tng} \alpha}{x^3}$ ertheilt wird. Die Geschwindigkeit in t Sekunden ist daher

$$tg = \frac{10000 \,.\, 60{,}71 \operatorname{tng} \alpha}{5{,}0255 \operatorname{tng} \alpha \, x^3} = \frac{120800}{x^3} \text{ mmtre.}$$

Der electrische Strom äussert also während der Zersetzungszeit von 1 Aequivalent Wasser, während er das Flächenmaass umkreist, eine magnetische Kraft, wodurch einer trägen Masse eine Geschwindigkeit ertheilt werden kann, 120800 mal so gross, als derselben Masse durch die Einheit des magnetischen Fluidums in einer Sekunde mitgetheilt wird. W. Weber hat den Vorschlag gemacht, denjenigen Strom, welcher wenn er das Flächenmaass umschreibt, dieselbe Wirkung, wie das Grundmaass des freien Magnetismus, aus gleicher Entfernung hervorbringt, als Stromeinheit zu nehmen. Er nennt demgemäss den Quotienten vom Aequivalente des Wassers durch die Zahl 120800, d. h. diejenige Wassermenge, welche durch die Stromeinheit in einer Sekunde zersetzt wird, electrochemisches Aequivalent des Wassers. (Pogg. Ann. 55. S. 181.)

Fig. 184.



436. Ein Drahtring abc Fig. 184 werde bei a an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängt. Senkrecht unter dem Aufhängepuncte ist der Zusammenhang des Rings unterbrochen und die dadurch gebildeten Enden tauchen in die Quecksilbernäpfe b und d ohne jedoch auf dem Boden derselben aufzustossen. Beide Näpfe stehen genau senkrecht unter dem Puncte a und gestatten desshalb eine freie Bewegung des Ringes um den Durchmesser ab.

Verbindet man die zu den Quecksilbergefässen führenden Drahtenden s und s' mit den Polen einer galvanischen Kette, so bewegt sich der Ring und strebt eine solche Stellung einzunehmen, dass seine Ebne den magnetischen Meridian winkelrecht durchschneidet. Denn diese Lage worin der Kreisstrom einen kleinen Magneten vorstellt, dessen positiver Pol nach Norden gerichtet ist, ist die einzige welche einen dauernden Gleichgewichtszustand gestattet. Wenn die Ringebne den Meridian zwar winkelrecht durchschneidet, aber der kleine Magnet den sie vorstellt, seinen negativen Pol nach Norden kehrt, so findet allerdings auch Gleichgewicht statt, es ist jedoch unbeständig; der Ring wird bei der geringsten Aenderung dieser Stellung ganz umgedreht. In jeder andern Lage sich selbst überlassen schwingt er ähnlich der Magnetnadel um die vorhererwähnte Ruhelage. Er erhält sein grösstes Drehungsmoment, wenn seine Ebne mit der des Meridians parallel steht. Dieses Drehungsmoment ist $\pi a^2 g T$; d. h. es wächst proportional mit der Stromstärke und dem Flächeninhalte der Ringebne.

Die Kraft eines jeden Stromelementes sr (Fig. 185) zerfällt nämlich in zwei Theile sy und sx. Der erstere ist wirkungslos, weil seine Richtung mit derjenigen des Erdmagnetismus zusammenfällt; der andere besitzt das Moment $sp \,.\, sx$. Es ist nun ersichtlich, dass die Summe der Momente der wirksamen Theile aller Stromelemente, dem absoluten Werthe nach gleich ist dem Quadratinhalte πa^2 des Kreises. Mit Recht haben wir also den Ausdruck $\pi a^2 g$ als das statische Moment des Kreisstroms zu betrachten.

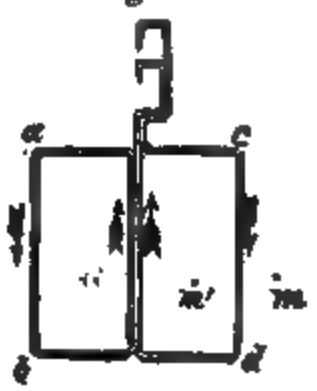
Fig. 185.

Es ist einleuchtend dass ein viereckig gebogner, übrigens auf gleiche Weise aufgehängter Draht ein ganz ähnliches Verhalten zeigen muss. Das entsprechende Drehungsmoment ist $4 a^2 g T$, wenn $2a$ die Länge einer Seite bezeichnet.

437. Ein beweglicher Leitungsdraht, so wie Fig. 186 oder so wie Fig. 187 aus zwei Rechtecken zusammengesetzt, verhält sich

Fig. 186.

Fig. 187.



astatisch gegen den Einfluss des Erdmagnetismus, weil; wie leicht zu übersehen, die Wirkung des einen Rechtecks die des andern wieder aufhebt. Solche astatische Stromleiter, an einem Gestelle wie in Fig. 186 aufgehängt, so dass sie ein leicht bewegliches System bilden, zeigen fest liegenden Magnetstäben gegenüber ein ähnliches Verhalten, wie astatische Magnetnadeln unter dem Einflusse unbeweglicher Stromleiter. Befindet sich z. B. bei *m* Fig. 187, zunächst der Seite *cd* des astatischen Rechtecks, ein Magnetpol, so wird der Draht *cd* winkelrecht gegen die Ebne *cdm* fortgestossen. Befindet sich derselbe Pol bei *m'*, so tritt eine ähnliche Abstossung aber in entgegengesetztem Sinne ein. Bringt man daher an die Puncte *m* und *m'* die Pole eines Hufeisenmagnets, so unterstützen sie einander um den Draht *cd* in Bewegung zu setzen, und zwar bei der in der Figur angenommenen Richtung des Stroms, zur Rechten oder Linken je nachdem in *m* der Nord- oder Südpol steht. Legt man einen Magnetstab nahe unter die Seite *ab* des andern astatischen Rechtecks, so stellt sich die Ebne des letzteren winkelrecht gegen die magnetische Axe des Stabs, und zwar so, dass sein Nordpol sich immer zur Linken des durch den Draht *ab* gehenden Stroms befindet. Durch Umkehrung des Stroms wird daher die Gleichgewichtslage gestört und der Draht muss einen Bogen von 180° beschreiben.

Das astatische Rechteck ist zuerst von Ampère benutzt worden, um die Einwirkung unbeweglicher Magnetstäbe auf bewegliche Stromleiter, eine Einwirkung die theoretisch allerdings leicht vorherzusehen war, auch experimentell zu bewähren.

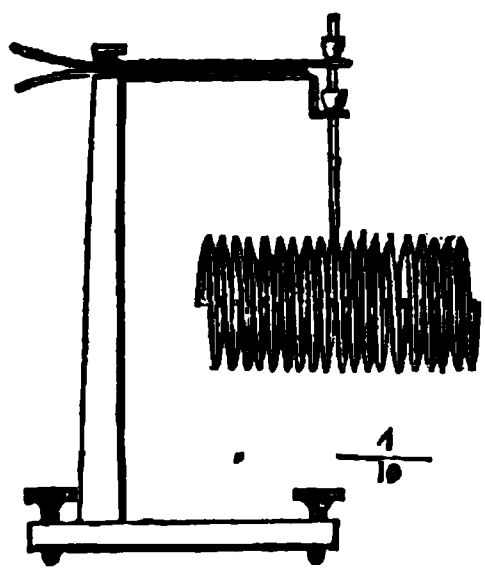
438. Derselbe Gelehrte hat eine bequeme Vorrichtung ersonnen, um electrische Ströme rasch umzukehren. Sie hat den Namen Gyrotrop oder Commutator erhalten und besteht aus einem Stücke dichten Holzes (Fig. 188) in welchem 6 Vertiefungen, bestimmt um Quecksilber aufzunehmen, angebracht sind. Die Oeffnungen *a* und *b* werden mit den Polen des Electromotors in Verbindung gesetzt; *c* steht durch einen dicken Kupferdraht in leitendem Zusammenhange mit *e*, ebenso *d* mit *f*. Beide Drahtstücke durchkreuzen sich also, ohne jedoch einander zu berühren. Auf dem Brete sitzt eine Wippe mit 6 Füssen aus dickem Kupferdrahte, entsprechend den 6 Quecksilberbehältern. Zwei dieser Füsse welche in die Oeffnungen *a* und *b* eintauchen, sind länger als die übrigen; so dass von den letzteren immer nur zwei zugleich, nämlich *c* und *d* oder *f* und *e* in die zugehörigen Quecksil-

Fig. 188.

bernäpfe eingehen können. Die Füsse *a*, *c* und *f* bilden ein zusammenhängendes Metallstück, ebenso die Füsse *b*, *d* und *e*; beide Abtheilungen der Wippe sind aber nur durch einen Handgriff von Holz verbunden und stehen folglich in keinem leitenden Zusammenhang. Man begreift nun leicht, dass der z. B. bei *a* eindringende Strom in den Ableitungsdraht *s* oder *s'* übergeführt werden muss, je nachdem man die Wippe auf der einen oder der andern Seite niederdrückt.

439. Es ist vorher gezeigt worden, dass der Kreisstrom sich ähnlich verhält wie ein kleiner Magnet, dessen positiver Pol sich links von der Richtung des Stroms befindet. Biegt man nun den Leitungsdraht einer electrischen Kette zu mehreren fortlaufenden Windungen von gleicher Grösse, etwa in Form einer Schraube, so erhält man eine Reihe kleiner, gleichgerichteter Magnete, deren Wirkungen also einander unterstützen müssen. Die Figur 189 zeigt einen solchen schraubenförmig gewundenen Kupferdraht. Hängt man denselben an dem Gestelle (Fig. 186) auf und wird er von dem Strome durchdrungen, so stellt sich seine Längenrichtung in den magnetischen Meridian, so dass der Strom den magnetischen Norden zur Linken hat. Verrückt man ihn aus dieser Lage so kehrt er nach einer Reihe von Schwingungen (die nöthige Empfindlichkeit der Aufhängung vorausgesetzt) immer wieder in dieselbe zurück. In ähnlicher Weise folgt die magnetische Schraube der Einwirkung eines genäherten Magnetpols. Weiter lässt sich jedoch die Analogie mit einer Magnetnadel nicht ausdehnen. Das grösste magnetische Moment der Schraube steht nicht, wie bei einem Magnetstabe, in Abhängigkeit von der Länge, sondern wird nur durch die Stromstärke, so wie durch die Grösse und Anzahl der Windungen bestimmt. Es sey z. B. *a* der Radius, *n* die Zahl der Windungen, so ist das grösste statische Moment $= n.\pi.a^2.g$; also nicht grösser als das eines einzigen Ringes, in welchem ein Strom von *n*facher Stärke circulirt. Verwendet man dieselbe Drahtlänge zu einem einzigen Ringe von *n*facher Grösse, so wird das entsprechende Moment $\pi(na)^2 g$ also *n*mal so gross als vorher.

Fig. 189.



Diese Folgerungen lassen sich mit Hülfe des Weber'schen kleinen Magnetometers oder magnetischen Intensitätsmessers (380, Fig. 149) leicht auch experimentell rechtfertigen, indem man den Drahtring oder die Schraubenwindungen in passender Entfernung von der Nadel so aufstellt, dass ihre verlängerte Axe in die Mitte der Nadel trifft und zugleich auf dem magnetischen Meridian senkrecht steht. Aus der bewirkten Ablenkung und dem bekannten Ab-

stande wird dann mittelst der Gauss'schen Formel das Moment berechnet.

440. Electromagnete. Der electrische Strom besitzt die Eigenschaft die natürlichen magnetischen Kräfte des Eisens zu scheiden. Umgibt man eine Stange von weichem Eisen mit einem Drahtgewinde, das man mit den Polen einer electrischen Kette verbindet, so wird sie augenblicklich magnetisch polarisch und verharrt in diesem Zustande, so lange sie von dem Strome umkreist wird. Ihre, beziehungsweise zur Richtung des letzteren, linke Seite erhält einen positiven Pol, ihre rechte Seite einen negativen Pol. Durch Umkehrung des Stroms wird diese Polarität alsbald ebenfalls umgekehrt. Oeffnet man die Kette, so verschwindet sogleich oder doch bald nachher jede Spur von freiem Magnetismus. Nur dann, wenn beide Pole durch einen Anker von weichem Eisen verbunden waren, und dieser nicht mit Gewalt abgerissen wird, erhält sich ein Theil der wechselseitigen anziehenden Kraft noch längere Zeit.

Die magnetische Kraft eines Electromagnets verhält sich wie die Stärke des Stroms, welcher den Eisenstab umkreist. Um diess zu beweisen schliesse man in den Kreis der electrischen Kette neben dem Drahtgewinde, eine Tangentenbussole und einen Stromregulator; dann messe man bei verschiedenen Stromstärken die Einwirkung des Electromagnets auf eine entfernte Magnetnadel nach der vorher schon erwähnten, in N. 378 ausführlicher erörterten Methode; am bequemsten unter Beihülfe von Weber's kleinem Intensitätsmesser. Man findet auf diesem Wege das Moment des Electromagnets oder eigentlich den Ausdruck

$$\frac{2M}{T} = R^3 \operatorname{tng} \alpha.$$

Die zugehörige Stromstärke ergibt sich aus der Gleichung:

$$\frac{g}{T} = \frac{R' \operatorname{tng} \alpha'}{2\pi}.$$

Diese Gleichungen sagen, dass das Moment M sich verhält wie die Tangente des Ablenkungsbogens der Intensitätsnadel, und dass die Stromstärke g der Tangente des Ablenkungsbogens der Galvanometernadel proportional ist. Wenn daher das Moment eines Electromagnets mit der Stromstärke gleichmässig zu- oder abnehmen soll, so muss man für jede Veränderung des Werthes von tng α' eine proportionale Aenderung von tng α erhalten; und so zeigt es wirklich der Versuch.

Die erzeugte magnetische Kraft ist, wenn die Enden des Eisenstabs von den äussersten Drahtwindungen so weit abstehen, dass letztere von ersteren aus gesehen einen nicht zu berücksichtigenden kleinen Bruchtheil der Kugelfläche decken, unabhängig von der Weite der Drahtwindungen. Denn

wenn man einen Kern von Eisen mit concentrischen Drahtwindungen von ungleichem Durchmesser, jedoch einer gleichen Anzahl von jeder Art, umgibt, und einen Strom von beständiger Stärke abwechselnd durch die einen und andern gehen lässt, so bleibt der Ablenkungsbogen α, folglich auch das Moment des Electromagnets unverändert.

Dieses Verhalten erklärt sich dadurch, dass jeder Kreisstrom die magnetischen Kräfte nicht nur solcher Eisentheile, die in seiner Ebne liegen, zu trennen sucht, sondern dass er auch auf die rechts und links von seiner Ebne gelegnen Theile des Eisenkerns einwirkt. Es seyen $ro = r$ (Fig. 190) und $Ro = R$ die Halbmesser zweier concentrischen Ströme, $m\,m'$ der durch ihre gemeinschaftliche Axe gelegte Eisenkern, so werden die von dem Ringe $2r\pi$ in dem Puncte a, und die von dem Ringe $2R\pi$ in dem unter gleicher Neigung gelegnen Puncte b bewirkten magnetischen Ausscheidungen sich verhalten, verkehrt wie die Halbmesser R und r. Die zwischen gleichen Winkelweiten gelegenen Stücke des Eisens und folglich auch die Puncte proportionaler Wirksamkeit vergrössern sich aber mit dem Ringhalbmesser. Die Gesammtwirkung zweier Ringe von ungleichem Durchmesser muss folglich gleich seyn insofern nur der Eisenstab auf beiden Seiten der Ringebne weit genug hervorsteht. Wird diese letztere Bedingung eingehalten, so ist es übrigens, hinsichtlich der Stärke des entwickelten Magnetismus ganz gleichgültig, ob der Strom den Eisenstab in der Mitte oder näher dem einen oder andern Ende umkreist. Eben so wenig äussert die Ordnung in welcher die Windungen neben- und übereinander liegen den geringsten Einfluss; nur darf nirgends eine metallische Berührung statt finden und alle Windungen müssen nach derselben Richtung gehen; d. h. die kleinen Magnete welche sie vorstellen müssen je die gleichartigen Pole nach derselben Seite hin kehren. Hufeisenförmig gebogne Eisenstäbe müssen genau in der Weise wie die geraden umwickelt werden, so nämlich, dass wenn man sich das Hufeisen aufgebogen denkt, alle Windungen in gleichem Sinne gehen. (Siehe Fig. 191)

Fig. 190.

Fig 191.

Aus dem Vorhergehenden ergibt sich als unmittelbare Folge, dass der in einem Eisenstab durch den Strom erregte Magnetismus, bei gleichbleibender Stromstärke, mit der Anzahl Umwindungen in geradem Verhältnisse zunimmt, mögen diese nun neben- oder übereinander aufge-

wickelt seyn. Nur solche Windungen die dem Ende eines Eisenkerns ganz nahe liegen oder deren Umfang von der Oberfläche des Eisens weiter absteht, als dieses über der Ringebne hervorragt, besitzen aus dem oben angegebnen Grunde eine etwas geringere Wirksamkeit als die übrigen. Das eben ausgesprochne Gesetz lässt sich daher sichrer und mit grösserer Allgemeinheit auf folgende Art ausdrücken: Die gesammte Wirkung in die Ferne der einen Eisenkern umgebenden Windungen ist gleich der Summe der Wirkungen der einzelnen Windungen.

Auf die Stärke der ausgeschiedenen magnetischen Kräfte äussert aber auch die Beschaffenheit des Eisenkerns selbst einen sehr grossen Einfluss. Gewöhnlich wählt man dazu cylindrische Eisenstücke, weil diese sich am bequemsten mit dem Kupferdraht so umwickeln lassen, dass der Raum im Innern der Windungen vollständig ausgefüllt wird. Man findet nun, dass die magnetische Wirksamkeit (die ablenkende Kraft) verschiedener gleich dicker Eisencylinder mit ihrer Länge zunimmt, jedoch nicht verhältnissmässig, sondern in grösserem Verhältnisse als die Länge.

Es seyen z. B. 4 cylindrische Stäbe von 395; 300; 260 und 200 Mmtre Länge, bei 38 Mmtre Durchmesser, welche nach einander in eine Drahtrolle von 574 Windungen gesteckt und dadurch in Electromagnete verwandelt werden. Man bestimme ihre Momente nach dem in N. 380 beschriebenen Verfahren, immer bei gleicher Stromstärke, aus den bei je zwei Abständen von der Intensitätsnadel beobachteten Ablenkungen, mit Hülfe der Gauss'schen Formel

$$\frac{2M}{T} = \frac{R^3 \operatorname{tng}\alpha - R'^3 \operatorname{tng}\alpha'}{R^2 - R'^2}$$

Jedes auf diese Weise ermittelte Moment ist jedoch zusammengesetzt, aus dem Momente des Eisenkerns und dem der Drahtrolle für sich. Man bestimme daher auch das Moment der letzteren und ziehe den dafür gefundenen Werth von dem Moment eines jeden Electromagnets ab. Die Zahlen der zweiten Spalte in der folgenden Tabelle sind auf diesem Wege und zwar für die Stromstärke $\frac{g}{T} = \frac{200{,}65}{2\pi} \operatorname{tng} 35°$ bestimmt worden. Sie sind vergleichbare Ausdrücke für die Einwirkung der zugehörigen magnetischen Eisencylinder, aus weiter Entfernung auf die Magnetnadel.

Länge des Cylinders	$\frac{2M}{T}$ abgeleitet aus der Beobachtung	$\frac{2M}{T}$ berechnet	l mmtre
395	1182300000	1187000000	160,6
300	853792000	853800000	113,1
260	637660000	688000000	93,1
200	463600000	466300000	63,1
Die leere Drahtrolle	56444000		

Das magnetische Moment $M = 2\mu l$ eines Magnetstabs ist das Product der Menge getrennter magnetischer Flüssigkeiten (2μ) in die halbe Scheidungsweite (372) oder in den Abstand (l) eines Pols von der Mitte des Stabs. Nach Coulomb's Untersuchungen (291) ist die Menge und Vertheilung des freien

Magnetismus an beiden Enden eines Magnets, dessen Länge 180 Mmtre und darüber beträgt, unabhängig von der Länge, und vom äussersten Ende bis zu 80 Mmtre Entfernung hin, bei cylindrischen Stäben von gleicher Dicke fast dieselbe. Die idealen*) Pole der vier durch den electrischen Strom magnetisirten Eisencylinder müssen daher in beinahe ein und demselben Abstande x von ihren Enden liegen, und es muss seyn $M = 2\mu\left(\frac{L}{2} - x\right)$, wenn L die Länge eines Cylinders vorstellt. Vorausgesetzt nun, dass die Menge des durch den Strom ausgeschiedenen magnetischen Fluidums in Cylindern von gleicher Dicke, wenn sie genügend weit aus den Windungen hervorragen gleich ist, wird es möglich aus je zweien Gleichungen obiger Gestalt μ und x und folglich auch die halbe Scheidungsweite δ abzuleiten. Für x wurde als Mittelwerth 36,9 mm gefunden. Die hiernach berechneten Momente der 4 Eisencylinder stimmen mit den aus der Beobachtung abgeleiteten Resultaten genau genug überein, um zu beweisen: dass in cylindrischen Eisenstäben von gleicher Dicke, aber ungleicher Länge, unter dem Einflusse desselben electrischen Stromes gleiche Quantitäten von Magnetismus ausgeschieden werden, dass aber dessen ungeachtet die Wirkung in die Ferne nicht gleich, sondern der Grösse der Scheidungsweite proportional ist.

Da nun bei ein und demselben Eisencylinder, wie lang er auch seyn mag, stets ein mit der Stromstärke proportionales Anwachsen der magnetischen Kraft wahrgenommen wird, so muss man schliessen, dass die Scheidungsweite und folglich auch das Vertheilungsgesetz des frei gewordenen Magnetismus ganz unabhängig ist von der Quantität der getrennten Flüssigkeiten; d. h. dass ein und derselbe Stab seine Pole immer an denselben Puncten erhält, wie viel oder wie wenig Magnetismus darin entwickelt worden seyn mag.

Die magnetische Wirksamkeit eines Electromagnets ist bei gleichbleibender Stromstärke hauptsächlich von der Beschaffenheit seiner Oberfläche abhängig. Als man einen massiven und einen hohlen Cylinder, beide von 38 Mmtre Dicke nach einander in eine Drahtrolle von 500 Windungen in 9 Lagen übereinander, schob, erhielt man fast dieselbe Ablenkung der Intensitätsnadel. Diess fand sogar dann statt, wenn der hohle Cylinder aus Eisenblech verfertigt war. Als man während des Versuchs in die Höhlung des letzteren einen dieselbe ausfüllenden massiven Eisenkern schob, wurde die Stellung der Nadel nicht merklich dadurch geändert. Die innere Masse des Eisens nimmt folglich keinen, oder doch nur einen geringen**) Antheil an der magnetischen Thätigkeit; wie stark auch die magnetische Entwicklung an der Oberfläche seyn mag.

Bei diesem Verhalten des Eisens gegen die magnetische Einwirkung der bewegten Electricität lässt sich mit der grössten Wahrscheinlichkeit annehmen, dass die Menge magnetischer Flüs-

---

*) Es gibt eine ideale Verbreitung der beiden magnetischen Fluida auf der Oberfläche des Magnets, welche mit der wirklichen für alle äusseren Wirkungen gleichwerthig ist. Der Nordpol eines Magnets ist der Schwerpunct des so verbreiteten nordmagnetischen, der Südpol der Schwerpunct des ebenfalls an der Oberfläche verbreitet gedachten südmagnetischen Fluidums.

**) Wenn die Drahtwindungen aus beträchtlicherer Entfernung auf den Eisenkern einwirken, so wird ihr Einfluss auf die inneren Eisentheile merklicher.

sigkeiten, welche an der Oberfläche eines Cylinders ausgeschieden wird, sich verhält nahezu wie die Grösse der Oberfläche.

Die Ablenkungsversuche geben jedoch nur eine unvollkommene Bestätigung dieser Folgerung, denn man findet, dass die magnetischen Momente cylindrischer Eisenstäbe in etwas geringerem Verhältnisse abnehmen, als ihre Durchmesser oder Oberflächen. Z. B. drei 200 Mmtre lange Cylinder von 38; 19 und 10 Mm. Durchmesser, welche nach einander der Einwirkung desselben Stromes ausgesetzt wurden, erhielten die magnetischen Momente:
463600; 294376 und 140200. Der obigen Annahme entsprechend, hätte man aber 463600; 231800 und 123000 erhalten müssen.

Der Grund dieser Abweichung ist vielleicht in dem Umstande zu suchen, dass die Scheidungsweite cylindrischer Magnetstäbe etwas grösser wird, wenn der Durchmesser abnimmt. Denn auch andere Erfahrungen, von welchen erst später die Rede seyn kann, beweisen, dass die Menge magnetischen Fluidums, die unter dem Einflusse gleicher Stromkräfte in Eisencylindern von ungleicher Dicke erregt wird, den Durchmessern der letzteren proportional ist (460).

Es ist nunmehr möglich die Kraft cylindrischer Electromagnete durch Rechnung im Voraus zu bestimmen. Die zu diesem Zwecke geeigneten Gleichungen sind:

$$\frac{2M}{T} = A\frac{r\,\mathrm{tng}\,\alpha}{2\pi}\,n\,.\,l\,.\,d \quad \text{und}$$

$$\frac{2m}{T} = \frac{2n\pi a^2 g}{T} = n a^2 r\,\mathrm{tng}\,\alpha.$$

Die erste gibt das Moment des Eisenkerns, die zweite das Moment der Drahtrolle. $\frac{r\,\mathrm{tng}\,\alpha}{2\pi} = \frac{g}{T}$ bedeutet die Stromstärke gemessen durch den Erdmagnetismus, n die Zahl, a den Halbmesser der Windungen; d die Dicke des Eisenkerns, l die Hälfte des Abstandes beider Pole von einander; A ist ein unveränderlicher Coefficient, zu dessen Ermittlung die vorher mitgetheilten Beobachtungen dienen können, indem man für $\frac{2M}{T}$ und l einen der dafür gefundenen Werthe; $n = 574$; $r = 200{,}65$ und $\alpha = 35°$ setzt. Man erhält dann

$$\frac{A}{2\pi} = 2{,}411.$$

Der Nutzen dieser Gleichungen wird am deutlichsten aus der folgenden Aufgabe erhellen:

Mit einer gegebenen Kupfermasse, einem gegebenen Eisencylinder und vier Kohlen-Zinkelementen zu einem Paare geordnet, soll ein Electromagnet von möglichst grosser Wirksamkeit in die Ferne ausgeführt werden.

Man nehme die Länge einer Windung $= 2\pi a$; den kubischen Inhalt der ganzen Kupfermasse $= 2\pi a F$; den Leitungswiderstand eines Kupferdrahts von der Länge $2\pi a$ und dem Querschnitte $f = \varrho$, so ist der Widerstand eines Drahts von derselben Länge und dem Querschnitte $F = \frac{\varrho f}{F}$. Da nun aber aus dieser Kupfermasse n Windungen gebildet werden, folglich die Länge n mal grösser als $2\pi a$, der Querschnitt dagegen n mal kleiner als f wird, so ergibt für den Leitungswiderstand sämmtlicher Drahtwindungen der Werth $\frac{\varrho f n^2}{F}$.

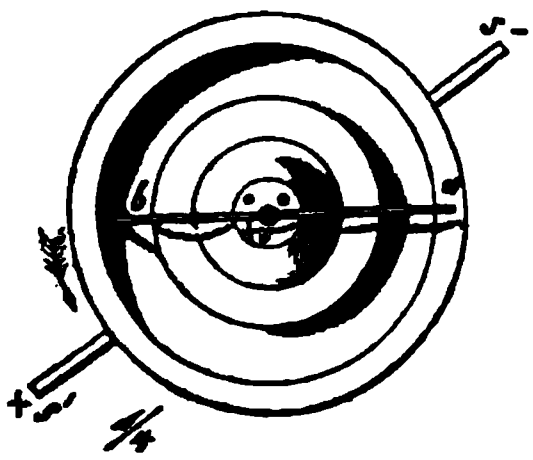
Es sey ferner ϱ' der Widerstand der Kette und aller zugehörigen Verbindungsdrähte K die electromotorische Kraft; daher nach dem Ohm'schen Gesetze und mit Berücksichtigung der Tangentenbussole, die ablenkende Kraft $\mathrm{tng}\,\alpha = \frac{K}{\varrho' + \frac{\varrho f n^2}{F}}$, und das gesuchte magnetische Moment

durch eine electrische Drahtrolle zu schieben, um den natürlichen Gleichgewichtszustand ihrer magnetischen Kräfte augenblicklich und bleibend zu stören. Um den Magnetismus des gehärteten Stahls so vollständig zu entwicklen, als es seine Coercitivkraft gestattet, ist es nicht sowohl erforderlich eine recht grosse Anzahl Drahtwindungen und einen Electromotor von entsprechendem Umfange zur Verfügung zu haben, als vielmehr eine intensive Stromstärke gegen jeden einzelnen Punct der Stahlstange zu richten. Es bedarf hierzu, wie Elias (Pogg. Ann. 62. 250) zuerst gezeigt hat, nur einer mässigen Anzahl Umwindungen eines 4—5 mmtre dicken Kupferdrahts, die zu einem ganz schmalen aber hohen Ringe geordnet werden. Anstatt des Drahts kann man auch und vielleicht noch mit grösserer Bequemlichkeit einen Kupferstreifen gebrauchen der 1 Mmtre dick, 20 Mmtre breit und lang genug ist um etwa 40 Windungen übereinander daraus bilden zu können. Eine Windung ist von der andern durch geleimtes Papier getrennt. Als Electricitätsquelle nimmt man 1 — 4 Kohlen-Zink-Elemente, die neben einander zu einem einzigen Paare verbunden werden. Die zersetzende Kraft dieses Apparates ist so gross, dass eine Stahlstange von 2—3 Fuss Länge und 2 Zoll Breite, die man ein- oder zweimal ihrer ganzen Länge nach durch die Höhlung des Ringes hin- und wieder zurückschiebt so magnetisch wird, als sie überhaupt zu werden vermag. Ein Hufeisenmagnet mit vorgelegtem Anker gewinnt durch einmaliges Durchziehen das Maximum seiner Kraft; gleichwohl kann durch Umkehrung der Stromesrichtung seine Polarität fast augenblicklich ebenfalls umgekehrt werden. Diese Magnetisirungsmethode hat vor dem Streichen überdiess noch den Vorzug, dass dabei keine Zwischenpole entstehen können.

442. **Electromagnetische Umdrehungen.** Die unmittelbare wechselseitige Einwirkung des electrischen Stroms und eines Magnetpols äussert sich, wie wir gesehen haben, weder als Anziehung noch als Abstossung, sondern als ein Druck senkrecht gegen die durch Stromesrichtung und Pol gelegte Ebne. Dieser Druck bleibt bei unverändertem Abstande immer derselbe, wo auch rings um einen geradlinigten Strom herum der Magnetpol, oder rings um einen isolirten Pol der geradlinigte Strom sich befinden mag. Es ist daher vorauszusehen, dass ein freier Magnetpol einen feststehenden Stromleiter, und dass umgekehrt ein leichtbeweglicher Stromleiter einen unbeweglichen Pol umkreisen muss. In der That kam man zu dieser Folgerung bald nach der Entdeckung des Electromagnetismus. Es ist zuerst Faraday gelungen, dieselbe durch ein Experiment zu rechtfertigen. Dieser Versuch, einmal gegeben, wurde dann bald auf das mannichfaltigste abgeändert. Einige derartige Verrichtungen mögen hier eine Stelle finden.

Bewegung eines Magnets um den Strom. Ein weites Glasrohr ist mit Quecksilber gefüllt. Ueber der Mitte desselben erhebt sich ein 2—3 Linien dicker gerader Kupferdraht, der eine Linie tief in die Flüssigkeit eintaucht und dessen oberes Ende in leitende Verbindung mit dem einen Pole eines kräftigen galvanischen Paares gesetzt werden kann. Von dem andern Pole führt eine Drahtverbindung zu einem Ringe von Kupferblech, der auf dem Glasrohr sitzt und dessen unterer Rand ringsum das Quecksilber berührt. Zwischen Ring und Draht schwimmt ein kleiner Magnet aus Stahldraht, der mittelst eines an seinem untern Ende angeschraubten Stückes Platindraht von gleichem Durchmesser in senkrechter Stellung erhalten wird. So wie man die Kette schliesst, beginnt der Magnet den Draht zu umkreisen, weil bei der beschriebenen Anordnung der Strom nur auf einen seiner Pole wirken kann. Die Richtung der Bewegung lässt sich je nach der Richtung des Stroms und der Beschaffenheit des aus der Flüssigkeit hervorstehenden Magnetpols leicht übersehen.

Fig. 192.



Bewegung des electrischen Stroms um einen Magneten. In der Mitte eines Cylinders von festem und dichtem Holze (Fig. 192) ist ein Näpfchen von hartem Eisen eingelassen, in welchem der um seinen Schwerpunct leicht bewegliche Kupferdraht *ab* auf stählerner Spitze ruht. Ringsum in 2—3 Zoll Abstand befindet sich eine in das Holz eingeschnittene Rinne, die so weit mit Quecksilber angefüllt wird, dass das schneidige Ende des bei *b* rechtwinklig umgebognen Drahts eben in die Quecksilberfläche eingeht. Von den Drähten *s* und *s'* führt der eine zu der Rinne, der andere zu dem eisernen Näpfchen; sie dienen die Verbindung mit einem constanten galvanischen Paare zu vermitteln. Wird nun dieser Apparat über oder unter den einen oder andern Pol eines Magnets gestellt, und schliesst man die Kette, so dreht sich der bewegliche Draht um seine Axe. Sicher gelingt jedoch dieser Versuch nur dann, wenn die Oberfläche des Quecksilbers in der Rinne frei von Schmutz und das eiserne Näpfchen inwendig verzinnt ist. Denn ohne die zuletzt erwähnte Vorsicht wird die Stahlspitze von dem in das Näpfchen gebrachten Quecksilbertropfen nicht hinlänglich umgeben und verbrennt daher gleich beim ersten Durchgange des Stroms. Bei genügender Beweglichkeit des Drahts, rotirt derselbe auch ohne Beihülfe eines künstlichen Magnets, schon unter dem Einflusse des senkrechten Theils der erdmagnetischen Kraft.

Der in Fig. 193 abgebildete Apparat ist eigentlich nur eine Abänderung des vorhergehenden. Die Holzscheibe *a* in der die Rinne angebracht ist, umschliesst den einen Schenkel eines aufrecht stehenden Hufeisenmagnets und lässt sich an demselben auf- und niederrücken. Mittelst einer Schraube wird sie so festgestellt, dass mehrere dünne von einer Kupferscheibe *b* herabgehende Metallstäbe eben das Quecksilber in der Rinne berühren. In der Mitte dieser Scheibe, an ihrer unteren Fläche ist eine Stahlspitze eingeschraubt, die in eine flache Vertiefung auf der Oberfläche des Magnets eingeht und um welche die Scheibe sammt den daran befestigten Stäben sich im Gleichgewichte halten. Oben trägt die bewegliche Kupferscheibe ein Quecksilbernäpfchen *c*, in das der Zuleitungsdraht *cd* eingesenkt wird. So wie man nun den einen Pol eines Daniell'schen Paares mit diesem Näpfchen, den andern mit der Quecksilber-Rinne verbindet, beginnt die Bewegung um den Magnetpol.

Fig. 193.

Dieselbe Figur zeigt noch eine andere recht belehrende Vorrichtung. Zwei Cylinder von Kupferblech von ungleichem Durchmesser, concentrisch gerichtet und mittelst einer ringförmigen Bodenplatte verbunden, bilden eine Art Trog, in welchen etwas verdünnte Schwefelsäure gebracht und ein amalgamirter Zinkcylinder eingesenkt wird. Zink und Kupfer umgeben, wie man aus der Zeichnung sieht, den einen Pol eines Hufeisenmagnets und hängen an Rahmen von Kupferdraht, welche sich auf Stahlspitzen stützen. Die des Kupfertrogs ruht unmittelbar auf der Fläche des Magnets und trägt oberhalb ihres Rahmens ein kleines inwendig verzinntes Näpfchen von gehärtetem Eisen, in das die Stahlspitze des andern Rahmens eingeht. Es entwickelt sich ein electrischer Strom, der von dem Zink durch die Flüssigkeit zu dem Kupfer dringt, an dem inneren Rahmen aufwärts steigt, an dem äusseren wieder herabgeht und so wieder zu dem Zinke gelangt u. s. f. Die beiden auf Spitzen schwebenden Cylinder werden hierdurch genöthigt, den Magnetpol in entgegengesetzten Richtungen zu umkreisen. Ist es z. B. der positive Pol, so dreht sich der Kupfertrog zur Rechten, der eingetauchte Zinkcylinder zur Linken.

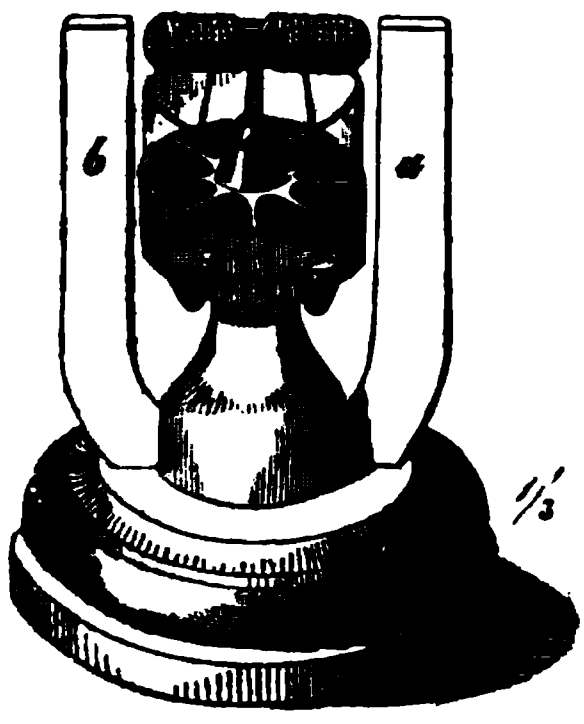
Fig. 194.

Die Figur 194 stellt einen

Apparat vor, in welchem ein Stromleiter durch die gleichzeitige Einwirkung beider Pole eines Hufeisenmagnets in Bewegung gesetzt wird. Er ist bekannt unter dem Namen des Barlow'schen Rädchens. Der Magnet kann aus Stahl verfertigt seyn oder wie es hier angenommen ist aus weichem Eisen bestehen und durch eine genügende Anzahl Umwindungen des Leitungsdrahtes erst magnetisch gemacht werden. Das eine Ende dieses Drahts führt zu einem zwischen beiden Polen in die Holzunterlage eingeschnittenen länglichen Troge *a* der mit Quecksilber angefüllt wird, das andere steht in Verbindung mit einem constanten electrischen Paare, von dessen anderer Seite ein Leitungsdraht zu dem gabelförmigen Kupferstreifen *b c e* geht. An beiden Enden der Gabel bei *c* und *e* sind Vertiefungen angebracht, gross genug um einige Tropfen Quecksilber aufnehmen zu können. Die Axe des Rädchens ruht in Einschnitten, welche sich am Rande dieser kleinen Quecksilberbehälter befinden. So kann der Strom zu der Axe und den Speichen des Rädchens gelangen und von diesen weiter zu den Zinken übergehen, von welchen immer eine oder zwei in das flüssige Metall des Trogs eintauchen und dadurch die Kette schliessen. Jede Zinke durch welche der Strom geht, wird gleichzeitig von beiden Magnetpolen fortgestossen und so eine regelmässige Umdrehung des Rädchens um seine Axe bewirkt. Die stossende Kraft steht im zusammengesetzten Verhältnisse der magnetischen Kraft der Pole und der des Stromleiters; sie muss folglich proportional mit dem Quadrate der Stromstärke zunehmen.

Kreisbewegung durch Stromwechsel. Wenn zwischen beiden Polen eines aufrecht stehenden Hufeisenmagnets Fig. 195, ein gerader Electromagnet, um eine vertikale Axe leicht beweglich, aufgestellt ist, so werden die Pole des letzteren von denen des ersteren je nach der Richtung des durch die Windungen laufenden Stroms angezogen oder abgestossen. Gesetzt nun es finde zuerst Anziehung statt, und es lasse sich dahin bringen, im Augenblicke da die grösste Annäherung erreicht und in Folge der erlangten Geschwindigkeit eben überschritten worden ist, die Richtung des Stroms in den Windungen und folglich auch die daraus hervorgehende Polarität plötzlich umzukehren, so muss Anziehung mit Abstossung wechseln und der Electromagnet muss bei fortdauernder derartiger Einwirkung eine rotirende Bewegung annehmen. Die Lösung dieser Aufgabe ist zuerst dem Engländer Ritchie auf folgende Art gelungen: Unter dem beweglichen Magnete befindet sich ein ring-

Fig. 195.



förmiger Quecksilberbehälter aus Holz, der in der Richtung des einen zum andern Schenkel des Hufeisens (von *a* nach *b*) durch eine Holzwand in zwei Abtheilungen ohne leitenden Uebergang geschieden ist*). Die eine lässt sich mit der positiven, die andere mit der negativen Seite eines constanten Paars in Verbindung setzen. Beide werden mit Quecksilber so weit gefüllt, dass es sich etwas über den Rand der Scheidewand erhebt, ohne jedoch von der einen Abtheilung zur andern überfliessen zu können. Die von den Windungen des Electromagnets herabhängenden Drahtenden können auf diese Weise mit dem Quecksilber in Berührung kommen, ohne doch an die Scheidewand zu streifen. Es ist nun einleuchtend dass der Strom, je nach der Stellung des rotirenden Eisenstabs, abwechselnd in das eine Drahtende und nach einer halben Umdrehung in das andere eindringen und dadurch allemal im rechten Augenblicke den Wechsel der Pole bewirken muss.

Der feststehende Magnet darf ebenfalls ein Electromagnet seyn. Die bewegende Kraft wächst dann bei zunehmender Stromstärke mit dem Quadrate derselben und, wenn auch die Windungen um beide Eisenstücke gleichmässig vermehrt werden, überdiess noch mit dem Quadrate der Anzahl Umwindungen. Die Triebkraft, welche auf diese Weise erzielt werden kann, scheint demnach ohne Gränze zu seyn. Jakobi hat jedoch gezeigt, dass wenn einerseits die Kraft dem Quadrate der Windungen proportionirt ist, andererseits der unter ihrem Impulse zurückgelegte Weg im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate der Windungen steht, dergestalt dass durch die Anzahl Windungen in Betreff des mechanischen Effectes nichts gewonnen werden kann.

Die Möglichkeit unter dem Einflusse eines fest stehenden Electromagnets eine regelmässig fortdauernde Umdrehung eines beweglichen Electromagnets zu bewirken, hat den Gedanken geweckt, den Electromagnetismus als Betriebskraft einer Maschine zu benutzen. Es scheint, dass Jakobi, damals in Königsberg und Wagner in Frankfurt fast gleichzeitig oder doch ohne von einander zu wissen, diese Idee auffassten und dieselbe zu verkörpern sich bemühten. Bald wurden indessen ihre Bestrebungen bekannt und erregten während einiger Zeit die allgemeinste Aufmerksamkeit. Die ausserordentlich grosse und wie es den Anschein hatte fast unbegränzte Kraft, welche dem Eisen mit Hülfe starker electrischer Ströme ertheilt werden kann, spannte die Erwartungen aufs höchste und schien in der That die glänzendsten Hoffnungen rechtfertigen zu müssen. Selbst Männer der Wissenschaft wurden

---

*) In der Figur erscheinen sternförmig geordnet noch andere das flüssige Metall durchschneidende Holzwände; sie gehen jedoch nicht bis auf den Boden der Behälter und unterbrechen folglich nicht den Zusammenhang des flüssigen Inhaltes. Sie sind überdiess unwesentlich und dürften wegbleiben.

hierdurch geblendet und vergassen oder übersahen, dass nach allgemeinen Gesetzen der Mechanik die Wirkung nicht von der Grösse einer Kraft, sondern von dem Verbrauche abhängt, der hier in letzter Instanz auf der Menge aufgelösten Zinkes beruht. Jakobi (Pogg. Ann. B. 51. S. 364) erwarb sich das Verdienst die Gränzen des möglichen Effectes electromagnetischer Maschinen festzustellen, und hat hierdurch bewiesen, dass der Electromagnetismus als Betriebskraft denselben Bedingungen wie andere bewegende Kräfte unterliegt. Jakobi hat übrigens eine electromagnetische Maschine erbaut die $^3/_4$ — 1 Pferdekraft ausübte und dadurch die Ausführbarkeit des Gedankens ausser Zweifel gestellt. Eine nützliche Anwendung für die Gewerbe scheiterte nur an der allzu grossen Kostbarkeit der neuen Kraft. Dass der Erfolg kein anderer seyn konnte begreift man, wenn man erwägt, dass zur hüttenmännischen Gewinnung des metallischen Zinks ein Aufwand nur allein an Brennmaterial erfordert wird, der in Wärme verwandelt und zum Betriebe einer Dampfmaschine verwendet, einen Effect gibt wenigstens von gleicher Grösse, als durch Auflösung, d. h. Verbrennung des Zinks in der electrischen Kette denkbarer Weise erzielt werden kann.

443. Electro-magnetische Telegraphie. Der electrische Strom in Folge seiner merkwürdigen Eigenschaft, gewisse Wirkungen durch sehr lange Leiter mit einer Geschwindigkeit fortpflanzen zu können, die selbst diejenige des Lichtstrahls übertrifft, ist ein höchst wichtiges Hülfsmittel der telegraphischen Mittheilung geworden. Schon vor beinahe 40 Jahren hat Sömmering*) die galvanische Wasserzersetzung hierzu vorgeschlagen. Bei der praktischen Schwierigkeit auf diesem Wege zusammengesetzte Mittheilungen zu machen, blieb diese Idee im Grossen unausgeführt und gerieth fast in Vergessenheit. Lange Zeit nachher, erst im Jahre 1833 gelang es Gauss und Weber durch glückliche Benutzung der magnetischen Wirkungen des Stroms die Möglichkeit jener Mittheilungsweise zur unzweifelhaften Thatsache zu machen. Zwei parallel laufende isolirte Kupferdrähte wurden aus dem physikalischen Kabinet in Göttingen nach der ungefähr $^1/_4$ Meile entfernten Sternwarte geleitet und konnten an jedem dieser Endpuncte mit dem Multiplicatordrahte eines Magnetometers so wie mit einem geeigneten electromotorischen Apparate verbunden werden. Je nach der Richtung welche man dem Strome gab, konnte nun die am andern Endpuncte befindliche Magnetometernadel willkührlich rechts oder links bewegt werden und hierdurch war ein Mittel gegeben, zwei verschiedene Zeichen hervorzubringen, durch deren mehrfache Combination eine für die Telegraphirung genügende Anzahl Signale gewonnen werden konnte. Wirklich wurde diese

*) Denkschriften der Kgl. Akad. d. Wiss. München 1809.

Kette gleich von Anfang an oft zu telegraphischen Zeichen benutzt, nicht bloss zu einfachen, um täglich die Uhren zu vergleichen, sondern versuchsweise auch zu zusammengesetzten, um Wörter und ganze Phrasen zu signalisiren*). Wenn also Sömmering mit Recht als der Erfinder der electromagnetischen Telegraphie betrachtet werden muss, so verdankt man doch Gauss und Weber die erste Anlage einer Telegraphenlinie. Ein regelmässiger Gebrauch bei der beschriebenen Anordnung würde freilich die unausgesetzte Aufmerksamkeit der Beobachter in Anspruch genommen haben. Dieser Unbequemlichkeit suchte Steinheil bei einer schon ausgedehnteren Anlage, welche er in München ausführte, dadurch abzuhelfen, dass er zwei mit ungleichem Tone schlagende Glocken neben der Magnetnadel anbrachte, eine auf jeder Seite derselben. Eine jede Ablenkung der Nadel wurde nun durch einen bald höheren bald tieferen Ton angezeigt und hiernach liess sich die Richtung derselben beurtheilen. Durch einen weiteren Zusatz zu diesem Apparat ist es nicht einmal nothwendig, dass der Beobachter während des Spiels des Telegraphen zugegen ist, indem die Signale durch eine Maschinerie des Apparates selbst aufgezeichnet werden. Es ist nämlich dicht unter einer jeden der beiden Glocken ein kleiner Winkelhebel angebracht, in der Art, dass der eine aufwärts gebogene Arm desselben jedesmal gleichzeitig mit der Glocke von der Magnetstange bewegt wird. Der andere horizontale Arm drückt dann eine besondere Art Zeichenstift gegen ein, von einem Uhrwerk in langsamer Bewegung erhaltenes Papier, auf welchem hierdurch ein Punct aufgetragen wird. Beide Zeichenstifte sind nahe bei einander in einer gegen die Richtung der Bewegung des Papiers winkelrechten Linie aufgestellt. Die von denselben aufgetragenen Puncte werden folglich nach zweien mit einander parallelen Linien geordnet, dergestalt dass die telegraphischen Signale welche gegeben werden sollen, sich mit einem Blicke erkennen lassen. Eine andere von Steinheil angegebene höchst bemerkenswerthe Veränderung in dem electrischen Telegraphen besteht darin, dass er an der Stelle des einen der beiden Leitungsdrähte die Leitfähigkeit der Erde zu benutzen wusste. Er hat nämlich gezeigt, dass so wenig leitend die Erdschichten auch sind, sie gleichwohl wie die metallischen Leiter zur Fortpflanzung des Stroms verwendet werden können, sobald man sie nur mit einer hinreichend grossen und mit dem Apparate zusammenhängenden Metallplatte in Berührung setzt. Durch diese verschiedenen Anordnungen und Verbesserungen war die Möglichkeit, Signale auch auf beträchtliche Entfernungen hin übertragen zu können, festgestellt, die Handhabung des Apparates war sicher

*) Result. a. d. Beobacht. des magnet. Vereins im J. 1837. S. 14.

und bequem geworden, dem täglichen und regelmässigen Gebrauche stand kein eigentliches Hinderniss mehr im Wege.

Fast gleichzeitig mit Steinheil haben auch mehrere ausländische Gelehrte die Erfindung der Göttinger Naturforscher weiter auszubilden gesucht. Der Amerikaner Morse ersetzte die Magnetnadel durch einen Electromagneten der, je nachdem er unter dem Einflusse eines electrischen Stroms magnetisch gemacht wurde, oder durch Unterbrechung des Stroms seinen Magnetismus wieder verlor, die Fähigkeit erhielt, eine Platte von weichem Eisen anzuziehen und wieder fallen zu lassen. Vorsselmann de Heer in Deventer glaubte in den physiologischen Wirkungen des Stroms ein noch geeigneteres Mittel für die telegraphische Signalisirung auf weite Entfernungen hin gefunden zu haben und hat nach diesem Grundsatze einen Telegraphen von eigenthümlicher Einrichtung ausführen lassen. Seine Vorschläge scheinen bis jetzt keinen allgemeineren Beifall gewonnen zu haben. Die meisten Verdienste um die Vereinfachung des electro-magnetischen Telegraphen und um seinen Gebrauch im ausgedehntesten Maassstabe hat sich in den letzten Jahren Wheatstone erworben, der ausgerüstet mit seltnem Scharfsinne und von englischem Patriotismus aufs glänzendste unterstützt, mehr als jeder andere Naturforscher die Mittel erhielt, die ganze Eigenthümlichkeit dieses merkwürdigen Apparates gründlich zu studiren. Seine ersten Telegraphen sind nach dem Princip der Ablenkung einer Magnetnadel ausgeführt. Bei den später bekannt gewordenen, jetzt aber schon mehrfach beschriebenen Wheatstone'schen Zeiger-Telegraphen ist dem oben erwähnten Princip des Amerikaners Morse der Vorzug gegeben. Der Zeiger-Telegraph empfiehlt sich sowohl durch die Einfachheit der Einrichtung wie durch die Leichtigkeit des Gebrauchs. Die Figur 196. Pl. IV. zeigt einen solchen Apparat, jedoch mit etwas abgeänderter Gestalt. Derselbe ist von Herrn Drescher in Kassel ausgeführt worden. Die Grundidee ist die des Wheatstone'schen Telegraphen. In der Ausführung finden sich aber verschiedene Anordnungen, die wenigstens in dieser Zusammenstellung Herrn Drescher eigenthümlich sind und die man als wirkliche Verbesserungen betrachten muss.

Beschreibung des Telegraphen:

A. Electromagnet in Hufeisenform.

B. Hebel, welcher um die Axe *u u'* beweglich ist.

CC. Stab aus weichem Eisen, der an dem Hebel *B* befestigt ist und mittelst desselben den Polen des Magneten genähert oder auch davon entfernt werden kann.

D. Feder zum schnellen Abdrücken des Hebels von den Magnetpolen, so oft die magnetische Kraft derselben verschwindet. Der Hebel ist übrigens so gestellt, dass der daran hängende Anker *C* mit den Polen niemals in völlige Berührung kommen kann.

E. Stäbe, die mit dem Hebel durch ein Gelenke bei *F* verbunden sind und in Folge der oscillirenden Bewegung des Hebels das Sperrrad *G* fort-

schieben, zugleich aber auch vermöge der Art ihres Eingriffs in die Zähne des Sperrrads eine rückwärtsgehende Bewegung desselben verhindern.

H. Feder, die zum Zusammenziehen der Stäbe dient.

W. Zeigeraxe. Sie trägt das Sperrrad und zugleich den Zeiger *W Z*, der also mit dem Sperrrad, ähnlich wie der Zeiger einer Uhr gedreht wird. Er geht vor den auf der Scheibe *L L* im Kreise herum angebrachten Zeichen, z. B. den Buchstaben des Alphabets vorüber, und bleibt vor einem beliebigen derselben stehen, so wie man den Hebel *D* zum Stillstand bringt.

RR. Zeichenscheibe. Die Zeichen sind am Rande derselben genau in der Ordnung aufgetragen wie auf dem Zeigerblatte *L L*. Sie ruht in wagrechter Lage auf drei Füssen.

NN. Die Wechselscheibe ist concentrisch mit der vorhergehenden, nur etwas tiefer angebracht, und lässt sich mittelst der Handhabe *R O* um die senkrechte Axe *O* bewegen. Ihr äusserer Rand ist, ähnlich wie die Scheibe des Neff'schen Blitzrades zackig ausgeschnitten und die dadurch entstandenen Lücken sind mit dichtem Holze ausgefüllt.

p. Metallfeder, die an einem Fusse der Zeichenscheibe befestigt ist und gegen den Rand der Wechselscheibe drückt. Sie steht mit einem Kupferdraht in Verbindung, der zu dem Electromagnet der andern Station führt, Ein ähnlicher Kupferdraht geht von der Wechselscheibe zu dem electromotorischen Apparate und von da weiter ebenfalls zu der andern Station. Einer dieser Leitungsdrähte kann, wie Steinheil zuerst gezeigt hat, durch den Erdboden ersetzt werden. Wird nun die Wechselscheibe mittelst ihrer Handhabe in Bewegung gesetzt, so drückt die Feder *p* bald auf Metall, bald auf Holz; dadurch wird die Kette abwechselnd geschlossen und wieder geöffnet, der Electromagnet thätig und wieder unthätig. Der Hebel *B* beginnt zu oscilliren und dadurch Sperrscheibe und Zeiger fortzuschieben.

Es ist nun einleuchtend, dass wenn die Handhabe *R O* und der Zeiger *W Z* anfangs auf dasselbe Zeichen eingestellt waren, letzterer auch gleichmässig mit dem ersteren fortrückt und dass endlich, wenn man die Handhabe auf irgend einem Zeichen stehen lässt, der Zeiger auf eben demselben stehen bleibt.

Ein wichtiger Bestandtheil des Telegraphen ist das Lärmsignal, welches die Bestimmung hat, den Beobachter an der andern Station aufmerksam zu machen. Die Einrichtung dieses Zubehörs ist übrigens einfach und im Wesentlichen die eines Weckers.

J stellt ein Zahnrad vor, hinter welchem, und damit zusammenhängend, sich die Trommel zur Aufnahme einer starken Uhrfeder befindet;

K ein Getriebe, welches in die Zähne des Rades *J* eingreift;

L ein Sperrrad, das mit dem Getriebe *K* fest verbunden ist. Bei *a* hat dasselbe einen Stift, der sich auf einen vorstehenden Ansatz des Hebels legt und dadurch, so lange letzterer in Ruhe bleibt, eine Bewegung des Sperrrades verhindert. So wie aber der Hebel durch das Schliessen der Kette angezogen wird, gleitet der Ansatz unter dem Stifte *a* weg und das Schlagwerk setzt sich in Bewegung, bis man es durch Vorschieben der Schubstange *M* unter das Stift *b* wieder zur Ruhe bringt.

Herr Drescher hat den Zeiger-Telegraphen noch neuerdings sehr vereinfacht und die Beweglichkeit seines Triebwerks auf überraschende Weise vervollkommnet. Die Brauchbarkeit desselben, um Signale auf weite Entfernungen hin zu geben, ist dadurch bedeutend erhöht worden. Das Detail dieser Veränderungen ist jedoch bis jetzt Geheimniss geblieben.

Soll ein electromagnetischer Telegraph für die Benutzung auf weite Entfernungen hin eingerichtet werden, so ist die richtige Berechnung der Dicke des Leitungsdrahts eine höchst wichtige Frage. Auf die Drahtdicke ist von Einfluss: die Stromstärke, welche erfordert wird, um das Triebwerk in regelmässiger Bewegung zu

erhalten, also der Grad der Beweglichkeit des letzteren, ferner die Beschaffenheit und Anzahl galvanischer Paare welche verwendet werden können, und endlich die Drahtlänge. Angenommen man habe durch die Prüfung mit einer guten Tangentenbussole gefunden, dass bei einem gegebnen Instrumente, zur Erhaltung eines sicheren und regelmässigen Ganges, die dem Ablenkungswinkel α entsprechende Stromstärke erfordert werde. Die Drahtlänge sey L; der Leitungswiderstand für die Längeneinheit, bei dem Querschnitte f sey r, folglich bei dem Querschnitte $F = \frac{Lrf}{F}$*); es sey ferner K die Kraft eines electromotorischen Paares, ϱ der Leitungswiderstand im Innern desselben, n die Anzahl der Paare, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze $\operatorname{tng}\alpha = \frac{nK}{n\varrho + \frac{Lrf}{F}}$; daher der gesuchte Querschnitt des Drahtes: $F = \frac{Lrf\operatorname{tng}\alpha}{n(K - \varrho\operatorname{tng}\alpha)}$.

Diese Gleichung lehrt, dass der Draht in demselben Verhältnisse dünner genommen werden kann, als man die zum Betriebe bestimmte Anzahl galvanischer Paare vermehrt; noch mehr kommt jedoch auf den leichten Gang des Triebwerks an; ein Umstand der um so mehr Berücksichtigung verdient, weil der Gebrauch einer grossen Anzahl Paare unbequem und kostspielig ist.

444. Die Grundgesetze des Electromagnetismus sind bald nach der Entdeckung desselben durch die Bemühungen mehrerer Naturforscher, hauptsächlich aber durch scharfsinnige Untersuchungen Ampère's erkannt und experimentell begründet worden. Ampère wurde im Verfolge dieser Arbeiten zu einer Theorie des Magnetismus geleitet, die von der gewöhnlicheren Vorstellungsweise des wirklichen Vorhandenseyns zweier magnetischer Flüssigkeiten wesentlich abweicht. Anstatt nämlich den freien Magnetismus des Eisens als eine Folge zu betrachten der Scheidung des im Innern eines jeden Atoms vorhandenen neutralen magnetischen Fluidums in seine zwei Bestandtheile, wird derselbe von electrischen Strömen abgeleitet, die sich ohne Aufhören um jedes Massentheilchen bewegen. Je zwei Theilchen dieser Elementarströme, mögen sie nun einander anziehen oder abstossen, wirken in der Richtung der geraden Linie welche sie verbindet. Die Stärke ihrer wechselseitigen Einwirkung steht im zusammengesetzten geraden Verhältnisse ihrer Länge und Stromstärke **), im verkehr-

*) Der Leitungswiderstand r sey z. B. in Regulatorwindungen ausgedrückt, so bedeutet f den Querschnitt des Regulatordrahts. Auf denselben Regulatordraht bezieht sich dann auch der Zahlenausdruck von K und ϱ.

**) Die Stromstärke ist hier nach der Electricitätsmenge zu schätzen, welche während der Zeiteinheit durch den Querschnitt fliesst.

ten zum Quadrate ihres Abstandes und ist ausserdem noch von den Richtungen beider Stromtheilchen gegen einander und gegen ihre Verbindungslinie abhängig. Je zwei parallele Stromtheilchen die in gleichem Sinne laufen, ziehen sich an; sie stossen sich aber ab, wenn die Richtungen ihrer Bewegung entgegengesetzt sind. Die magnetische Polarität der Atome des Eisens ist hiernach von ganz ähnlicher Natur wie die eines Kreisstroms, d. h. jeder solcher Elementar-Kreisstrom äussert nach der linken Seite seiner Richtung (beziehungsweise auf den Mittelpunct) das ganze Verhalten eines positiven, nach der rechten das eines negativen Magnetpols.

Die Wirkung des Magnetisirens würde dieser Ansicht gemäss darin bestehen, den Elementarströmen, die im natürlichen Zustande die mannichfaltigsten Richtungen haben, eine gleichlaufende Richtung zu ertheilen, dergestalt, dass sie sich in ihrer Wirksamkeit nach Aussen wechselseitig unterstützen und sich ähnlich wie die Elemente des schraubenförmig gewundenen Stroms zu einer Reihe auf einander folgender Kreisströme ergänzen. Im Sinne der Ampère'schen Theorie ist auch die erdmagnetische Kraft eine Folge paralleler electrischer Ströme, welche in der Richtung von Ost nach West die Erde umkreisen.

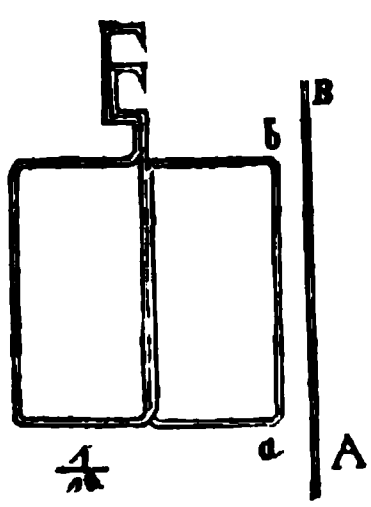
Will man diese Hypothese als die wahre Grundlage der Erscheinungen, zu deren Erklärung sie aufgestellt ist, nicht gelten lassen, so muss man ihr doch immerhin den Werth eines vortrefflichen, ja des bis jetzt einzig bekannten Hülfsmittels zugestehen, um die magnetischen, die electromagnetischen und die folgenden von Ampère entdeckten electrodynamischen Erscheinungen unter einen gemeinsamen Gesichtspunct zu bringen.

Electrodynamik.

445. Man versteht unter Electrodynamik und electrodynamischen Erscheinungen die Wirkungen electrischer Ströme auf einander.

Betrachten wir zunächst zwei geradlinigte Ströme die parallel neben einander hergehen. Man nähere einen geraden Kupferdraht, dessen Endpuncte mit den Polen einer galvanischen Kette verbunden sind, der einen oder andern senkrechten Seite des astatischen Stromleiters (Fig. 197) und lasse durch den letzteren denselben oder auch einen anderen electrischen Strom gehen. Der bewegliche Draht *ab* wird sogleich von dem unbeweglichen *AB* angezogen oder abgestossen werden, je nachdem die sich begegnenden Ströme oder richtiger Stromstücke in gleichem oder in entgegenge-

Fig. 197.

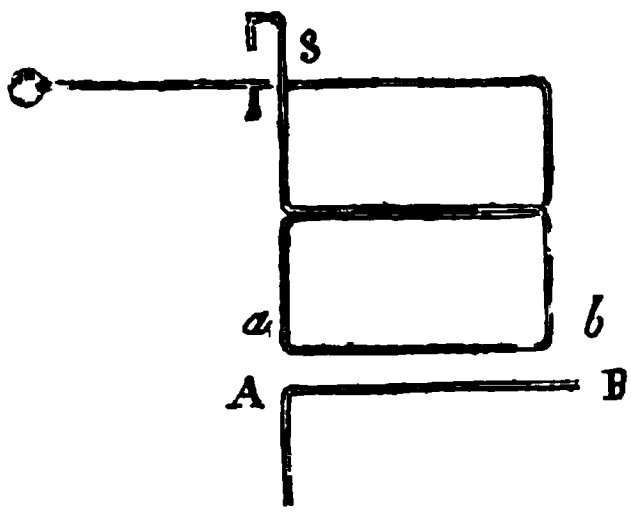


setztem Sinne laufen. Im ersten Falle oscillirt das bewegliche Viereck durch die von seiner Axe und dem senkrechten Drahte AB gebildete Ebne, im zweiten Falle sucht es eine zu dieser Ebne winkelrechte Stellung zu behaupten. Hieraus folgt: dass parallele Ströme einander anziehen, wenn sie sich in gleichem Sinne bewegen, im umgekehrten Falle aber sich abstossen. Die Anstellung des Versuchs erfordert übrigens kräftige electrische Ströme, z. B. 4 Bunsen'sche Elemente zu einem Paare geordnet und Drähte von entsprechender, wenigstens von 2 Mmtre Dicke.

Wenn in der Richtung der Linie AB zwei Drähte isolirt neben einander liegen und wenn der Strom durch den einen aufwärts, durch den andern wieder zurückgeht, so bemerkt man keine Einwirkung auf den beweglichen Leiter. Die Wirkungen gleicher, in der Richtung entgegengesetzter Stromlängen heben sich also bei gleicher Intensität wechselseitig auf.

Wird ein geradlinigter Draht AB unter der senkrechten Axe as des in Fig. 198 abgebildeten astatischen Vierecks in wagerechter Lage so angebracht, dass die durch die Linien as und AB gegebne Ebne mit derjenigen des beweglichen Vierecks einen beliebigen Winkel bildet, und leitet man den eindringenden Strom in der Weise, dass er sich in den beiden Drähten AB und ab entweder gegen den Scheitelpunct des Winkels, welchen sie einschliessen, bewegt oder sich in beiden von diesem Puncte entfernt, so dreht sich das bewegliche Viereck gegen die Ebne ABs und bleibt nach einer Reihe von Schwingungen in derselben stehen. Der Strom geht dann in den beiden Drähten AB und ab nach einerlei Richtung. Wechselt man diese Richtung in dem einen Drahte, so wird der bewegliche Leiter abgestossen und beschreibt bei hinlänglicher Stärke der Ströme einen Bogen von 180°.

Fig. 198.

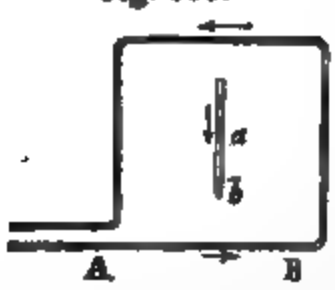


Wir ziehen aus diesen Versuchen die Folgerung: dass geradlinigte electrische Ströme, welche in verschiedenen Richtungen nach demselben Punct hinfliessen oder gleichzeitig sich davon entfernen, einander anziehen; dass sie sich aber abstossen, wenn sich der eine gegen einen Punct hin bewegt, von dem sich der andere entfernt.

Es sey ab ein geradlinigter Strom, dessen Leitungsdraht um den Punct a*) beweglich ist. Ein anderer Strom AB der an ab

*) Die über dem Puncte a liegenden Theile des Drahts, muss man sich nicht von dem Strome durchflossen denken, sie dienen nur, um dem unteren Theile bei der Drehung um den Punct a ein Gegengewicht zu bilden.

Fig. 199.



vorübergeht oder denselben, so wie es Fig. 199 andeutet, rings umgibt, muss ihn bei genügender Stärke der Einwirkung in eine rotirende Bewegung versetzen, und zwar muss sich der Punct *b* im Sinne der durch die Pfeile angedeuteten Stromsrichtung von der Rechten zur Linken drehen. Die Möglichkeit einer solchen Kreisbewegung ergibt sich aus dem vorhergehenden Erfahrungsgesetze als eine nothwendige Folge. Der Versuch ist mit Hülfe des in Fig. 192 abgebildeten Apparates leicht ausführbar. Statt nämlich einen Magnetpol über oder unter den beweglichen Draht zu halten, umgibt man denselben mit einem Gewinde von dickem Drahte und lässt einen kräftigen Strom zu gleicher Zeit durch dieses Gewinde und durch den beweglichen Draht gehen.

Nach der Ampère'schen Hypothese beruht die durch einen Magnetpol (Fig. 192) oder die durch den Erdmagnetismus bewirkte Rotation auf einer wechselseitigen Einwirkung von ganz ähnlicher Natur wie die so eben beschriebene.

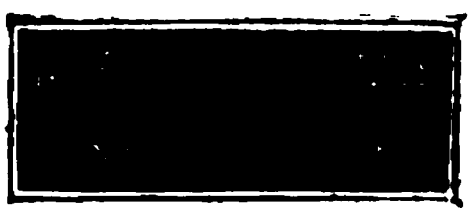
Die Wirkungen eines Stroms der in geschlängelter Bahn nach einer gewissen Hauptrichtung fortschreitet, sind denen eines geradlinigten von gleicher Hauptrichtung gleich, denn sie werden durch diejenigen eines geradlinigten und entgegengesetzt gerichteten Stromes vollständig aufgehoben. Hieraus geht hervor, dass die Stärke der wechselseitigen Einwirkung zweier Stromtheile, bei unverändertem Abstande wesentlich von ihrer gegenseitigen Lage abhängig ist und dass dieselbe bei gewissen Stellungen sogar Null werden muss.

446. Aus dem Verhalten geradlinigter paralleler Ströme muss man schliessen, dass je zwei Stromelemente *rs* und *uv* (Fig. 200) die einander parallel gegenüber und auf ihrer Verbindungslinie rechtwinklig stehen, sich anziehen, wenn sie nach gleicher Richtung fortschreiten, aber sich abstossen, wenn die Richtungen ihrer Bewegungen entgegengesetzt sind. Ferner ergibt sich aus dem Verhalten geradlinigter Ströme die einen Winkel bilden die nothwendige Folge: dass zwei Stromelemente, deren Verbindungslinie und verlängerte Richtungen ein Dreieck einschliessen, sich anziehen, wenn sie sich beide gegen den Scheitelpunct des Winkels bewegen oder beide sich davon entfernen, dass aber Abstossung erfolgt, wenn nur das eine gegen den Scheitelpunct geht, das andere sich davon entfernt. Angenommen nun das Element *uv* mache eine halbe Umdrehung um seinen Mittelpunct, so geht die gegen *rs* ausgeübte Anziehung in Abstossung

Fig. 200.

über oder umgekehrt. Zwischen beiden Lagen muss es also eine dritte geben, in welcher weder Anziehung noch Abstossung erfolgt. Diese kann nun keine andere seyn als die Lage $u'v'$, in welcher die Richtungslinie des einen Elementes auf der Mitte des andern senkrecht steht. Bei jeder anderen Stellung des Elementes uv gegenüber von rs bilden beider Richtungen die Seiten eines Winkels. Beide müssen sich daher je nach der Art ihrer Bewegung anziehen oder abstossen. Der Winkel den sie bilden sey α, so kann man sich vorstellen, dass das Element uv beziehungsweise zu seiner Wirksamkeit aus zwei Theilen: $uv \cos\alpha$ und $uv \sin\alpha$ bestehe, von welchen der erstere, der wirksame Theil mit rs gleichlaufend ist, der andere, der unwirksame auf rs senkrecht steht. Man sieht nun leicht dass die Grösse der wechselseitigen Einwirkung zweier Stromtheile um so geringer ausfallen muss, je mehr das eine Theilchen, von dem Parallelismus abweichend, sich der Gränze der unwirksamen Stellung nähert.

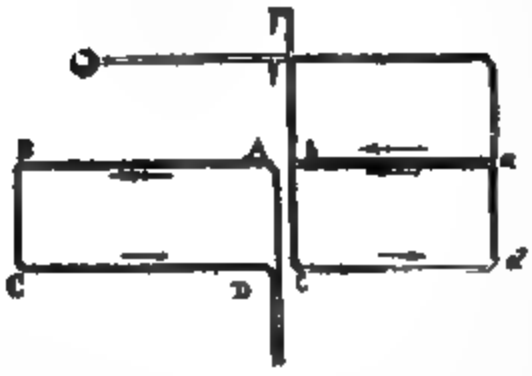
Fig. 201.



Wenn von zweien Stromelementen rs und uv Fig. 201, die in der Ebne in Wechselwirkung treten, weder das eine noch das andere auf der sie verbindenden geraden Linie winkelrecht steht; so denke man sich rs in die Seitenkräfte st und rt, ferner uv in die Seitenkräfte vw und uw zerlegt. Hierdurch entstehen vier Kräfte, welche je paarweise eine Einwirkung auf einander ausüben können; ts und wv, da sie parallel laufen, müssen sich anziehen oder abstossen; zwischen rt und wv, und ebenso zwischen ts und wu, welche senkrecht auf einander stehen, kann gar keine Wirkung statt finden. Aus den vorhergehenden Untersuchungen geht jedoch nicht bestimmt hervor, in welcher Weise rt und uw, deren Richtungen in dieselbe gerade Linie fallen, sich gegen einander äussern. Denkt man sich die Richtungen dieser Kräfte von der Linie ru im geringsten abweichend, so bilden sie einen Winkel und sind folglich wirksam gegen einander; man sieht aber leicht, dass die Art ihrer Einwirkung nicht geändert wird, ob nun der Scheitelpunct des Winkels rechts oder links von der Linie ru liegt. Ihre Wechselwirkung muss demnach bei der in der Figur bezeichneten Stellung Null oder was wahrscheinlicher ist von derselben Art seyn, wie wenn ihre Richtungen einen Winkel bildeten. Man hat hieraus weiter gefolgert, dass die Stromtheilchen selbst, wenn sie sich in einer geraden Linie gegen einander bewegen oder sich von einander entfernen, sich anziehen; und dass Stromelemente, die in derselben Richtung hinter einander her laufen, sich abstossen. Diese Schlüsse finden eine nähere Bestätigung in dem folgenden Versuche.

Ein viereckiges Drahtgewinde $ABCD$, das aus 6—8 Windungen eines Kupferdrahts von 2 Mmtre Dicke verfertigt ist, werde neben der Axe bc des astatischen Vierecks Fig. 202 so aufgestellt, dass die wagerechten Seiten AB und ab, so wie ferner CD und cd in gleiche Höhe zu liegen kommen, während die Ebnen beider Vierecke einen beliebigen stumpfen Winkel einschliessen. Gibt man nun dem eindringenden electrischen Strome die in der Figur durch Pfeile angedeutete Richtung, so stellt sich das bewegliche Viereck nach einer Reihe von Oscillationen in die verlängerte Ebne des feststehenden und kehrt in diese Lage, so oft man es daraus entfernt, immer wieder zurück. Es verlässt aber dieselbe sogleich und beschreibt einen Bogen von 180°; so wie die Richtung des Stroms in dem einen Vierecke gewechselt wird. Nach welcher Seite es sich drehen werde, hängt von zufälligen Umständen ab, ob es z. B. nach der einen oder andern Seite etwas überhing.

Fig. 202.



Um die Wirkung irgend eines Elementes rs des einen Drahts Fig. 203 auf ein beliebiges in gleicher Höhe liegendes Element uv des andern bequemer übersehen zu können, denke man sich jedes dieser Stromtheilchen in zwei Seitenkräfte zerlegt; die eine längs der Verbindungslinie ru, die andere winkelrecht auf diese Linie. Es leuchtet dann sogleich ein, dass die parallelen Seitenkräfte st und vw bei zunehmender Grösse des Neigungswinkels beider Drähte einen immer kleineren Werth erhalten und endlich verschwinden, während die in die Richtung ru fallenden Kräfte wachsen bis sie zuletzt die Grösse der Elemente selbst erreichen. Angenommen nun die Ströme gehen nach der in der Figur angedeuteten Richtung, so bewegen sich die parallelen Seitenkräfte st und vw in entgegengesetztem Sinne und wirken abstossend auf einander. Die Seitenkräfte rt und uw welche hinter einander herlaufen, müssen sich folglich auch abstossen, denn wirkten sie anziehend auf einander, so müsste der Draht ab von dem Drahte AB angezogen werden, so lange der Winkel den sie bilden grösser ist als ein rechter. Dem widerspricht aber der Versuch. Auf ähnliche Weise ergibt sich aus dem vorhergehenden Versuche, dass Stromelemente die beide gegen den Scheitelpunct des Winkels fliessen,

Fig. 203.

welchen ihre Richtungen bilden, oder von demselben sich entfernen, eine wechselseitige anziehende Kraft ausüben müssen*).

Wir sind nunmehr im Stande, die Wechselwirkung zweier Stromtheilchen r und s bei beliebiger gegenseitiger Stellung beurtheilen zu können. Bilden wir uns zu dem Ende ein System von drei rechtwinkligen Coordinatenaxen. Als eine derselben, z. B. als Axe der X mag die Verbindungslinie beider Elemente dienen, die andere, die Axe der Y falle in die durch das eine Stromtheilchen und die Axe der X bestimmte Ebne, die dritte endlich, die Axe der Z muss auf dieser Ebne senkrecht stehen. Zerlegen wir hierauf die Kraft eines jeden Elementes im Sinne dieser drei Axen in rechtwinklig zusammenstossende Seitenkräfte. Das Theilchen r zerfällt dadurch in die Seitenkräfte x und y, das Theilchen s in die Seitenkräfte x', y' und z'. Es ist nun nach dem Vorhergehenden klar, dass x und y gegen z', dessgleichen dass x gegen y' und y gegen x' unwirksam sind, weil je das eine auf dem andern senkrecht steht. Die Wechselwirkung zwischen r und s ist also beschränkt auf die Einwirkung von x auf x', welche beide in dieselbe Linie fallen und von y auf y', die parallel laufen. Die Grösse der wirksamen Seitenkräfte bestimmt sich aus der Intensität von r und s und aus den Winkeln, welche ihre Richtungen mit den Coordinatenaxen bilden.

Die Stärke der Anziehung oder Abstossung steht ausserdem im zusammengesetzten Verhältnisse der Intensitäten beider Stromelemente und im umgekehrten des Quadrates ihres Abstandes.

Auf das Stattfinden der beiden letzten Theile des Gesetzes der Wechselwirkung zweier Stromelemente scheint Ampère mehr wegen der überwiegenden Wahrscheinlichkeit eines derartigen Verhaltens im Allgemeinen geschlossen zu haben, als dass er zur Stütze derselben unzweifelhafte experimentelle Beweise vor sich hatte.

---

*) Es wäre freilich noch der Fall denkbar, dass zwei Stromelemente, die sich nach derselben geraden Linie bewegen, gar nicht auf einander einwirken. Dieser Fall ist jedoch höchst unwahrscheinlich, weil ihm die Annahme zu Grunde liegt, dass die parallelen Seitenkräfte, ungeachtet sie, wenn die Drähte einen Winkel von nahe 180° bilden, einen verschwindend kleinen Werth erhalten, gleichwohl noch ausreichend seyen, den nicht ganz unbedeutenden Reibungswiderstand in der Axe des astatischen Vierecks zu überwältigen. — Durch die weiter unten erwähnten Versuche W. Weber's ist überdiess jeder Zweifel in dieser Beziehung gehoben worden.

Man kann sich die Wechselwirkung zweier Stromelemente je nach ihrer gegenseitigen Lage versinnlichen, wenn man jedes derselben einem kleinen Magneten vergleicht, dessen Pole in der durch die Richtung des einen und die gerade Verbindungslinie beider Elemente bestimmten Ebne gelegen sind, und zwar der positive Pol links, der negative rechts von der Richtung der Bewegung.

447. W. Weber hat neuerdings diese Lücke in dem experimentellen Theile der Electrodynamik ausgefüllt, indem er die Richtigkeit des Ampère'schen Gesetzes in seiner ganzen Ausdehnung durch scharfe Messungen nachgewiesen hat. (Electrodynamische Maassbestimmungen von W. Weber, in den Abhandlungen bei Begründung der Kön. Sächs. Ges. d. Wissen. etc. herausg. v. d. Fürst. Jablonowskischen Gesellschaft.)

Fig. 204.

Weber hat zu diesem Zwecke ein ihm eigenthümliches Messinstrument benutzt, welches er Electro-Dynamometer nennt (Fig. 204). Es besteht im Wesentlichen aus zwei Drahtrollen, welche, wenn ein electrischer Strom dieselben durchdringt, auf einander einwirken. Die eine steht fest, die andere ist beweglich mit bifilarer Aufhängung. Weber hat ihr daher den Namen Bifilarrolle gegeben. Sie ist mit einem kleinen Spiegel verbunden der an ihren Bewegungen Theil nehmen muss. In diesem spiegeln sich die Theilstriche einer in mässiger Entfernung horizontal aufgestellten Scale und werden auf die bei dem Magnetometer beschriebene Weise mit dem Fernrohr abgelesen.

Die Bifilarrolle *aa* (Fig. 204) besteht aus einem dünnen Messingringe von 100 Mmtre Durchmesser und 30 Mmtre Breite, welcher zwei parallele Messingscheiben von 123 Mm äusserem und 100 Mm innerem Durchmesser verbindet und in 30 Mm Abstand von einander hält. Um diesen Messingring ist ein mit Seide übersponnener, ½ Mmtre dicker Kupferdraht ungefähr 3000 mal herumgewunden, so dass er den Zwischenraum zwischen beiden Scheiben ganz ausfüllt. Nach Aufwindung des Drahts wurden die beiden Messingscheiben durch eine feste messingne Klammer *bb* verbunden, welche in ihrer Mitte den Torsionskreis *cc* trägt. Dieser besteht aus zwei horizontalen Scheiben, von denen die untere durch die messingene Klammer mit der Bifilarrolle fest verbunden ist, die obere sich auf der unteren um eine vertikale Axe drehen lässt. Erstere ist mit einer Kreistheilung, letztere mit einem Index versehen. Die letztere hängt an einem hölzernen Zapfen *d*, welcher am oberen Ende die Gabel *ee* einer sehr beweglichen Rolle von 20 Mmtre Durchmesser hält. Unter dieser Rolle ist ein seidner Faden *ff* weggeführt, der zu beiden Seiten der Rolle senkrecht

nach Oben geht und einige Mmtre über der Rolle an den beiden Suspensionsdrähten *fg*, *fg* angeknüpft ist. Zu denselben Anknüpfungspuncten sind die beiden Enden des um die Bifilarrolle gewundenen Drahtes geleitet, so dass der galvanische Strom durch den einen Suspensionsdraht zum einen Ende der Bifilarrolle gelangen und aus dem andern Ende durch den zweiten Suspensionsdraht wieder heraustreten kann. Beide Suspensionsdrähte gehen senkrecht aufwärts zur Decke, wo sie an zwei von einander isolirten messingenen Haken befestigt sind. Von dort sind zwei andere Drähte wieder herabgeführt, der eine zu einem Commutator, der andere zur galvanischen Säule.

Mit Hülfe des Torsionskreises kann man der horizontalen Axe der beweglichen Rolle jede beliebige Lage geben, während die Suspensionsdrähte ihre natürliche parallele Lage beibehalten. Der Torsionskreis wurde so eingestellt, dass die Axe der Bifilarrolle mit dem magnetischen Meridiane zusammenfiel, so dass der Erdmagnetismus den Stand der Rolle, wenn ein Strom durch ihren Draht lief, nicht ändern konnte. An dem hölzernen Zapfen *d* wurde ein vertikaler Planspiegel *A* befestigt, auf welchen aus etwa $3\frac{3}{10}$ Metre Entfernung ein Fernrohr mit Fadenkreuz gerichtet wurde, um damit das Bild einer nahe beim Fernrohr aufgestellten horizontalen Scale zu beobachten.

Die feste Rolle *l* (Figur 204) besteht aus zwei dünnen parallelen Messingplatten von 88 Mmtre Durchmesser, die von einer $5\frac{1}{2}$ Mmtre dicken messingenen Axe *m* in 30 Mmtre Abstand von einander festgehalten werden. Der ganze Raum zwischen den Platten ist mit übersponnenem Kupferdraht von $\frac{1}{2}$ Mmtre Dicke, der in ungefähr 10000 Windungen um die Axe herum geht, ausgefüllt. Das eine Ende des Drahts ist dicht an der Axe *m* durch eine kleine mit Elfenbein gefütterte Oeffnung nach Aussen geführt, das andere ist an der Peripherie der Rolle bei *m'* mit Seidenfaden festgebunden. Das eine Drahtende geht zum Commutator, das andere zum Multiplicatordrahte eines Magnetometers und von diesem dann ebenfalls zum Commutator. Die Axe *m* ragt auf beiden Seiten der Rolle hervor und ruht in entsprechenden Vertiefungen eines kleinen hölzernen Gestelles *pp*, das auf drei Füssen steht, die mit Schraubenspitzen zum Nivelliren versehen sind. Der eine Fuss hat ein Gelenk und kann so zurückgeschlagen werden, dass er sich sammt einem Theile des Gestelles und der festen Rolle durch die bewegliche Rolle hindurchführen lässt. Auf diese Weise wird es möglich den Mittelpunct der festen Rolle nach Erforderniss in die Mitte der beweglichen zu rücken oder auch in beliebigen Abstand davon zu bringen.

Zum Schutz gegen den Einfluss der Luft ist die Bifilarrolle mit einem hölzernen Gehäuse umgeben, in welches eine Glasscheibe

eingesetzt ist, damit das Licht von der Scale in den Spiegel und von da zurück ins Fernrohr fallen kann.

Angenommen man lasse electrische Ströme von verschiedener Stärke nach einander in die Drähte des beschriebenen Apparates eindringen und beobachte gleichzeitig die dadurch bewirkten Ablenkungen der Nadel des Magnetometers und der Bifilarrolle des Dynamometers. Aus den ersteren ergibt sich die jedesmalige magnetische Kraft des Stroms und folglich die Stromstärke; aus den letzteren die zugehörige electro-dynamische Kraft. Wenn nun die Intensitäten der nach einander durchgehenden Ströme sich verhalten wie 1:2:3 u. s. w., so sollen nach dem Ampère'schen Gesetze die electrodynamischen Wechselwirkungen der festen und beweglichen Rolle der Reihe nach sich wie 1:4:9 u. s. w., d. h. wie die Quadrate der Intensitäten verhalten, und so hat es Weber in der That gefunden.

Wurde die feste Rolle aus ihrer Stellung im Innern der Bifilarrolle entfernt und ihr Mittelpunct nach und nach in verschiedene Abstände vom Mittelpuncte der Bifilarrolle gebracht, östlich oder westlich, nördlich oder südlich (d. h. längs dem magnetischen Meridian), während der durchgehende Strom immer gleiche Stärke behielt, so verminderte sich die wechselseitige Einwirkung beider Rollen. Wenn nun diese Abnahme von demselben Gesetze abhängig war, welchem die Grösse der Wechselwirkung zweier Magnete oder eines Magnets und eines geschlossenen electrischen Stroms unterworfen ist; so war es gestattet, die Abnahme der electrodynamischen Kraft bei zunehmender Entfernung mit Hülfe der Gauss'schen Formel (379) zu berechnen. Wirklich stimmten die beobachteten Ablenkungen der Bifilarrolle mit den auf dem angedeuteten Wege durch Rechnung gefundenen Ablenkungen so genau überein, als nur irgend erwartet werden durfte.

Weber hat übrigens die Richtigkeit der von Ampère gegebnen electrodynamischen Fundamentalgesetze noch einer anderen, direkteren und umfassenderen Prüfung unterworfen, indem er ausgehend von der Grundlage derselben, nämlich von dem, von Ampère selbst, für die Grösse der Wechselwirkung zweier Stromelemente im Raume, bestimmten Werthe, die Einwirkung der festen auf die bewegliche Rolle, bei den verschiedenen gegenseitigen Lagen und Abständen ihrer Mittelpuncte im Voraus berechnete und mit den beobachteten Resultaten verglich. Es zeigte sich eine fast vollkommne Uebereinstimmung der aus den Beobachtungen abgeleiteten ablenkenden Kräfte mit den durch die Rechnung bestimmten.

448. Das Dynamometer besitzt, wie verher gezeigt wurde, die bemerkenswerthe Eigenschaft, dass wenn ein electrischer Strom durch beide Rollen geht, die hieraus entspringende ablenkende Kraft dem Quadrate der Stromintensität proportional ist, während bei andern Galvanometern die ablenkende Kraft nur im einfachen

Verhältnisse der Stromstärke steht. W. Weber hat von dieser Verschiedenheit beider Werkzeuge eine sinnreiche Anwendung gemacht, um Stärke und Bewegungszeit solcher electrischer Ströme, welche wie der Entladungsschlag einer Leydner Batterie nur kurze Zeit anhalten, zu messen.

Lässt man einen Strom von sehr kurzer Dauer um eine Magnetnadel gehen, so verhält sich die Einwirkung wie die Gesammtmenge der in Bewegung gesetzten Electricität, oder auch wie das Product der Stromstärke in das Zeitelement. Denn die Geschwindigkeit, welche die Nadel gewinnt, ist zugleich von der beschleunigenden Kraft und von der Wirkungszeit abhängig. Erstere aber verhält sich wie die Stromstärke, d. h. wie die Electricitätsmenge welche gleichzeitig durch jeden Querschnitt fliesst. Wächst also die Stromstärke und vermindert sich verhältnissmässig die Zeit, d. h. bleibt die Electricitätsmenge ungeändert, so muss auch stets gleiche Ablenkung erhalten werden. Aus der beobachteten Ablenkung lässt sich daher in diesem Falle unmittelbar nur die Menge der Electricität ableiten. Um auch ihre Intensität bestimmen zu können, ist es nöthig die Stromdauer zu kennen.

Geht derselbe Strom durch beide Rollen des Dynamometers, so steht die entsprechende ablenkende Kraft im zusammengesetzten Verhältnisse der Dauer und des Quadrates der Intensität; sie wird folglich, immer gleiche Electricitätsmengen vorausgesetzt, um so grösser, je kürzer die Stromdauer. Die gleichzeitige Beobachtung der in beiden Instrumenten bewirkten Ablenkungen führt daher zu zwei von einander unabhängigen Gleichungen, von welchen die eine das Product der Dauer in die Intensität, die andere aber das Product der Dauer in das Quadrat der Intensität enthält, und aus denen somit beide Werthe abgeleitet werden können.

Weber hat versucht auf diesem Wege die Entladungszeit einer electrischen Batterie zu messen, wenn die Entladung durch eine nasse Hanfschnur von 7 Millimetre Dicke stattfand. Seine Versuche, die er indessen nur als vorläufige betrachtet, führten zu dem Resultate, dass die Entladungszeit der Länge der nassen Schnur fast proportional war und für die Länge von 2 Metre 0,0816 Sekunden betrug. (A. a. O. S. 295.) Dieses Resultat widerspricht übrigens keineswegs der von Wheatstone gefundenen Geschwindigkeit der Electricität (siehe S. 284) bei der Entladung durch Kupferdraht, wenn man bedenkt, dass das Kupfer viele Millionen mal besser leitet als das Wasser.

Electrodynamische Vertheilung (Induction).

449. Volta-Induction. Jeder electrische Strom der an einem geschlossenen Leiter der Electricität vorübergeht, bewirkt in demselben im Augenblicke seines Entstehens und eben so im Augen-

blicke seines Verschwindens, eine Störung des electrischen Gleichgewichts und das Auftreten eines Stroms von sehr kurzer Dauer. Dieselbe Erscheinung beobachtet man, so oft die Stärke des zuerst vorhandnen, aus der Electricitätsquelle (z. B. einer Volta'schen Säule) unmittelbar abstammenden Stroms zunimmt oder abnimmt, oder während der geschlossene Leiter dem unmittelbaren Strome genähert oder davon entfernt wird.

Diese eigenthümliche Wirkung electrischer Ströme in die Ferne ist im Jahre 1831 von Faraday entdeckt, und mit dem Worte Induction oder Volta-Induction bezeichnet worden. Deutsche Physiker haben dafür den Ausdruck: Electro-dynamische Vertheilung gewählt. Den aus dem Electromotor unmittelbar sich ergiessenden Strom nennt man den vertheilenden oder inducirenden Strom; den durch die Atmosphärenwirkung des letzteren erst geweckten, mittelbaren oder sekundären Strom, nennt man den inducirten oder Vertheilungs-Strom.

450. α) Man wickle zwei mit Seide übersponnene Drähte *a* und *b* neben einander, in möglichst vielen Windungen um eine Rolle, und verbinde *b* mit einem Galvanometer, *a* mit einer galvanischen Kette. In dem Augenblicke, da die letztere geschlossen wird, erhält die Galvanometernadel einen Stoss, und zwar im Sinne eines Stroms, der den Draht *b* in einer, der des vertheilenden Stroms entgegengesetzten Richtung durchdringt. Das Gleichgewicht stellt sich aber alsbald wieder her und die Nadel kehrt zu ihrer früheren Stellung zurück, aus der sie, so lange der ursprüngliche Strom mit unveränderter Stärke fortdauert, nicht wieder abweicht.

Im Augenblicke da man die Verbindung des Drahtes *a* mit dem Electromotor unterbricht und dadurch den vertheilenden Strom verschwinden lässt, erhält die Nadel einen zweiten Stoss, aber jetzt im entgegengesetzten Sinne, also im Sinne eines Stroms, der den Draht *b* in einer, mit der des inducirenden Sroms gleichen Richtung durcheilt.

β) Wenn in der geschlossenen galvanischen Kette nebst dem Drahte *a* noch ein anderer, dünnerer oder sehr langer Draht eingeschaltet war, durch dessen plötzliche Absonderung aus der Kette, doch ohne sie zu öffnen, die Stromstärke vermehrt wird, so zeigt die augenblicklich eintretende aber nur sehr kurze Zeit anhaltende Einwirkung auf die Nadel, dass der Draht *b* von einem Strome in entgegengesetztem Sinne des ursprünglichen durchlaufen worden war. Durch das umgekehrte Verfahren, nämlich durch Schwächung der Stromstärke wird ein Vertheilungsstrom von gleicher Richtung wie der vertheilende erhalten.

γ) Man nehme jetzt zwei getrennte Drahtrollen, am besten so, dass die eine sich über die andere schieben lässt, und verbinde wieder wie vorher den einen Draht mit der Säule, den andern mit dem Galvanometer. Man stelle beide Rollen einander so gegen-

über, dass ihre Axen zusammenfallen, und nähere die eine der andern oder entferne sie. In beiden Fällen wird ein Strom inducirt; von welchen der erste (der durch Annäherung erzeugte) die entgegengesetzte, der zweite aber dieselbe Richtung hat wie der inducirende.

451. Die beschriebenen Versuche führen zu der Regel: dass ein electrischer Strom in einem parallel liegenden Leitungsdrahte, im Augenblick seines Entstehens oder Anwachsens, oder auch während er demselben genähert wird, einen ihm entgegengesetzten hervorruft, im Augenblicke des theilweisen oder gänzlichen Verschwindens dagegen, oder während er entfernt wird, einen in gleicher Richtung laufenden. Diese Regel verliert jedoch ihre Geltung sowie die Drähte nicht mehr parallel laufen. Man kann sich dann nach der folgenden, von Lenz aufgestellten, ganz allgemein geltenden Regel leicht zurecht finden:

Wenn in der Nähe eines metallischen Leiters ein electrischer Strom entsteht, oder seinen Zustand ändert (z. B. stärker oder schwächer wird oder eine andere Lage erhält), oder auch wenn in der Nähe eines Stroms von unveränderlicher Beschaffenheit sich ein Leiter bewegt, so wird in dem letzteren ein Strom erzeugt, welcher eine der seinigen gerade entgegengesetzte Richtung haben müsste, um vermöge seiner Wechselwirkung auf den inducirenden Strom die Art Bewegung hervorbringen zu können, welche wirklich stattgefunden hat.

Beispiel: Zwei Drahtringe *a* und *b* von denen der erstere den Schliessungsbogen einer electrischen Kette bildet, stehen einander parallel gegenüber. Sowie der Strom in die Windungen von *a* eintritt und dadurch sich dem Ringe *b* nähert, entbindet sich aus diesem ein entgegengesetzt gerichteter Vertheilungsstrom, der also von dem vertheilenden Strom abgestossen wird. Ein gleich gerichteter Vertheilungsstrom entsteht, sowie der vertheilende Strom verschwindet, d. h. sich wieder aus dem Ringe *a* entfernt.

Wenn die Ebnen beider Ringe sich rechtwinklig durchkreuzen, in der Weise, dass die Durchschnittslinie den Kreisstrom halbirt, so entsteht kein Vertheilungsstrom, weil die vertheilenden Kräfte beider Hälften des Kreisstroms auf einen beliebigen Punct des stromfreien Ringes gleich gross und entgegengesetzt sind, daher sich wechselseitig aufheben müssen. Ein solches Gleichgewicht findet nicht statt, wenn die Ringebnen einen spitzen Winkel bilden; es wird folglich im Augenblicke der Schliessung der galvanischen Kette ein Strom inducirt, der sich gegen die Durchschnittslinie beider Ringe bewegt, wenn der ursprüngliche Strom sich von dieser Linie entfernt und umgekehrt. Ein zweiter Inductionsstrom in entgegengesetzter Richtung entsteht, sobald die Kette geöffnet wird. — Wenn von beiden Ringen, deren Ebnen sich rechtwinklig durchkreuzen, der eine an der Ebne des andern vorübergeht, so bildet sich in dem anfangs stromfreien Drahte ein Strom in solcher

Richtung, dass er gemäss den electrodynamischen Gesetzen von dem inducirenden Strome angezogen oder abgestossen wird, je nachdem in Folge der stattfindenden Bewegung die Mittelpuncte beider Ringe sich von einander entfernen oder einander näher treten.

Gesetzt der eine Ring ist etwas kleiner als der andere, so dass sie eine Stellung erhalten können, in welcher ihre Mittelpuncte zusammenfallen. Der eine z. B. der stromfreie sey um einen gemeinschaftlichen Durchmesser als Axe drehbar; man stelle ihn zuerst in die Ebne des andern Ringes, schliesse die Kette, und führe ihn dann aus der parallelen in die senkrechte Lage über. Es wird ein Strom erzeugt, der gegen die Drehaxe läuft oder sich von derselben entfernt, je nachdem der inducirende Strom sich ebenfalls gegen dieselbe bewegt oder von derselben entfernt. Fährt man fort den Ring, immer in demselben Sinne wie vorher, zu drehen, bis er wieder eine parallele Lage angenommen hat, so entsteht ein neuer Inductionsstrom und zwar in gleichem Sinne wie der vorhergehende.

Wird dagegen der drehbare Ring in die anfängliche Lage zurückgedreht, sey es durch eine rückgehende Bewegung oder durch fortgesetzte Drehung in dem vorhergehenden Sinne; in beiden Fällen entwicklen sich Ströme, welche die Galvanometernadel nach der andern Seite treiben. Man sieht hieraus, dass wenn der drehbare Ring eine oscillirende Bewegung durch die Ebne des Kreisstroms bewerkstelligt, es für die Richtung der hierdurch entstehenden Inductionsströme ganz gleichgültig ist, ob er sich auf der einen oder andern Seite der Ebne bewegt. Die unmittelbar auf einander folgenden Ströme sind aber stets einander entgegengesetzt, je nachdem derselbe Arm des beweglichen Rings sich von der Ebne des Kreisstroms entfernt oder derselben nähert.

Alle diese Verhältnisse lassen sich übrigens als einfache Folgen der oben angegebnen Regel betrachten. Um das Gelingen der betreffenden Versuche zu sichern, ist es gut zu jedem Ringe wenigstens 20 — 25 Windungen eines 2 Millimetre dicken Kupferdrahtes zu nehmen, und als Messwerkzeug ein zu thermoelectrischen Versuchen geeignetes Galvanometer auszuwählen.

452. **Magneto-Induction.** Vertheilungsströme von ähnlicher Art wie die vorherbeschriebenen werden in geschlossenen Leitern der Electricität durch Annäherung oder Entfernung eines Magnetpols hervorgebracht. Sie sind ebenfalls von **Faraday** entdeckt worden und werden, um sie von den Volta-electrischen Vertheilungsströmen zu unterscheiden, **magnet-electrische Ströme** genannt. Ihre Entstehung lässt sich übrigens sehr leicht auf die der ersteren zurückführen, wenn man sich den inducirenden Magneten von electrischen Strömen in dem Sinne, wie es die Ampère'sche Theorie verlangt, umflossen denkt.

Nach der folgenden von Lenz aufgestellten Regel lassen sich die Richtungen der durch Magneto-Induction erregten Ströme mit gleicher Sicherheit im Voraus bestimmen: Wird ein Leiter in der Nähe eines Magnets oder umgekehrt ein Magnet in der Nähe eines Leiters in Bewegung gesetzt, so erhält der in dem letzteren hervorgerufene Vertheilungsstrom eine Richtung, welche derjenigen entgegengesetzt ist, die ein durch denselben Leiter gehender Strom haben müsste, um in Folge seiner Wechselwirkung auf den Magneten eben die Bewegung hervorbringen zu können, welche unter dem Einflusse äusserer mechanischer Kräfte wirklich stattgefunden hat.

453. Eine hohle Drahtrolle deren Enden mit dem Multiplicatordrahte eines Galvanometers verbunden sind, werde rasch über den einen Pol eines Magnetstabs bis zur Mitte desselben geschoben. Sogleich bemerkt man eine starke Ablenkung der Nadel. Sie entspricht einem durch die Windungen der Drahtrolle laufenden Strome, dessen Richtung den hypothetischen Strömen im Magnete entgegengesetzt ist. Dieser Versuch ist also, wenn man von der Ampère'schen Theorie ausgeht, nur eine veränderte Form des in N. 450. γ. beschriebenen. — Wird die Rolle wieder zurückgezogen oder auch in gleichem Sinne wie vorher weiter und über den andern Pol des Magnets hinausgeschoben, so entsteht ein zweiter Vertheilungsstrom in entgegengesetzter Richtung.

Betrachten wir jetzt nur einen einzigen durch den Galvanometerdraht geschlossenen Ring. Seine Stellung sey vor dem einen Pol eines Magnetstabs so gewählt, dass seine Axe in die Verlängerung der Magnetaxe fällt. Wird dieser Ring um einen seiner Durchmesser als Drehaxe, um 180^0 gedreht, so entsteht ein Vertheilungsstrom, dessen Richtung, bezogen auf die anfängliche Lage des Ringes, mit derjenigen der hypothetischen Ströme des Magnetstabs gleichlaufend ist. Bringt man den Ring in die frühere Stellung zurück, so geht ein neuer Strom durch die Drähte, dessen Richtung nunmehr derjenigen der hypothetischen Ströme des Magnets entgegengesetzt ist. — Wollte man eine oder die andere dieser Bewegungen, z. B. die erste durch die Wechselwirkung des Magnetstabs auf einen den Ring durchdringenden Strom hervorbringen, so würde die Richtung des letzteren derjenigen der hypothetischen Ströme des Magnets entgegengesetzt seyn müssen. Der Vertheilungsstrom muss also nach obiger Regel dieselbe Richtung nehmen wie die Ströme des Magnets, und so hatte man wirklich gefunden.

Es ist einleuchtend, dass eine Anzahl paralleler Windungen eines Leitungsdrahtes, die man vor dem Magnete um ihren gemeinschaftlichen Mittelpunct dreht, sich ähnlich verhalten müssen wie ein einzelner Ring. Man erhält aber dadurch eine weit grös-

sere Menge vertheilter Electricität, und folglich mehr Sicherheit eine deutliche Einwirkung auf die Nadel selbst eines weniger empfindlichen Galvanometers hervorzubringen.

Wenn man dem Drahtgewinde eine solche Lage gibt, dass seine Ebne die Richtung der Inclinationsnadel beiläufig rechtwinklig durchschneidet, so erhält man durch Umdrehung des Gewindes um einen seiner Durchmesser einen Strom von derselben Richtung wie unter der Einwirkung des negativen Pols eines Magnetstabs. An die Stelle eines Pols der letzteren Art ist nämlich in diesem Falle die nördliche magnetische Kraft der Erde getreten. — Das Gelingen dieses Versuchs erfordert neben einem empfindlichen Galvanometer eine Inductionsrolle von wenigstens 2 bis 300 weiten Windungen eines 1—2 Millimetre dicken Kupferdrahts.

Gibt man dem Ringe oder dem ringartigen Drahtgewinde eine solche Lage, dass die verlängerte Axe eines Magnetstabs einen Durchmesser desselben bildet, und dreht man den Ring um diesen Durchmesser, so wird, vorausgesetzt dass keine andern Einflüsse als die des Magnets in Wirksamkeit treten, kein Vertheilungsstrom erregt. Es geschieht diess eben so wenig, wenn der Ring in der bezeichneten Lage längs der Magnetaxe vorwärts oder rückwärts bewegt wird. — Hätte man durch den Draht einen andauernden electrischen Strom gehen lassen, so würde, wie bekannt, die Einwirkung des Magnets auf denselben rechtwinklig gegen die Ringebne gerichtet seyn; eine rotirende Bewegung des Ringes um die verlängerte Magnetaxe oder eine geradlinigte Bewegung längs dieser Axe hätte also dadurch nicht hervorgebracht werden können.

Wird aber das Drahtgewinde unter oder über der Magnetaxe in Bewegung gesetzt, oder wird ein Magnetpol an den Windungen vorübergeführt, so entsteht ein Strom, welcher bei selbstständiger Einwirkung auf den Magneten eine Bewegung hervorbringen müsste, die der wirklich stattgehabten gerade entgegengesetzt sein würde.

454. Ein geschlossenes Drahtgewinde werde der Ebne des magnetischen Meridians gleichlaufend gestellt und im Innern desselben ein Magnetstab aufgehängt. Man drehe den letzteren plötzlich um seinen Mittelpunct, den Nordpol nach West, so geht ein Strom durch die Windungen der den Nordpol der Nadel nach Ost zu bewegen strebt. Geschieht die Drehung des Magnets nach Ost, so wird ein Vertheilungsstrom von entgegengesetzter Richtung erregt. Aus diesen Versuchen geht hervor, dass eine zwischen geschlossenen Multiplicatorwindungen schwingende Magnetnadel bei jeder Hin- und Herbewegung Ströme inducirt, welche ihr eine der ihrigen entgegengesetzte Bewegung einzuprägen und demnach ihre Schwingungsweiten zu vermindern suchen. Wenn die Enden der Drähte in keiner leitenden Verbindung stehen, so kön-

nen diese Inductionsströme nicht in Bewegung kommen; die schwingende Nadel kommt daher zwischen geschlossenen Windungen schneller zu Ruhe als zwischen offenen.

Auf diesem Erfahrungssatze beruht der Dämpfer, eine Vorrichtung, die man bei Galvanometern häufig anbringt, um die Bewegungen der Magnetnadel zu mässigen (zu dämpfen). Sie besteht bei dem Magnetometer aus einem starken Kupferringe, der die Nadel in der Ebne ihres Meridians umgibt (371). Es ist einleuchtend, dass alle Metallmassen in der Nachbarschaft eines Galvanometers mehr oder weniger einen ähnlichen Einfluss ausüben müssen.

455. Man denke sich einen kräftigen Hufeisenmagnet so auf einem Tische liegend, dass seine Pole über dem Rande desselben hervorragen. Der positive Pol sey nach Süden, der negative nach Norden gerichtet. Ein Stück dicken Kupferdrahts, dessen Enden mit dem Multiplicatordrahte eines in hinlänglicher Entfernung aufgestellten Galvanometers verbunden sind, werde in senkrechter Stellung zwischen beiden Polen durch gegen die Biegung des Hufeisens geführt. Man wird alsbald eine Abweichung der Nadel aus ihrer Ruhelage wahrnehmen, einen Strom anzeigend, der von Oben nach Unten durch das Drahtstück gegangen ist. Ein Strom in entgegengesetzter Richtung entsteht, sobald das Drahtstück wieder zurückgezogen wird.

Gesetzt über den Polen des Hufeisenmagnets werde eine drehbare metallische Axe in wagerechter Stellung so angebracht, dass eine Anzahl radial auslaufender Speichen oder Zinken von Metall während der Umdrehung bis zu einer Quecksilberrinne hinabreichen, die sich zwischen beiden Polen und unmittelbar unter denselben befindet. Diese Rinne stehe mit dem einen Ende des Multiplicatordrahts, die metallische Axe mit dem andern Ende in Verbindung. So oft nun während der Umdrehung dieser dem Barlow'schen Rädchen (Fig. 194. S. 402) ähnlichen Vorrichtung eine Speiche das Quecksilber berührt, entsteht ein electrischer Strom, der, wie aus dem vorhergehenden Versuche ersichtlich ist, von der Axe gegen die Quecksilberrinne läuft, wenn die betreffende Speiche sich durch das Quecksilber gegen die Biegung des Hufeisens bewegt. Die Richtung der bei fortgesetzter Drehung auf einander folgenden Ströme muss sich demnach gleich bleiben, so lange man das Rädchen immer in demselben Sinne umdreht.

Man vertausche das Speichenrädchen mit einer kreisförmigen Scheibe von Kupfer und drehe die letztere in ähnlicher Weise wie vorher das erstere um die wagerecht liegende Axe, so dass während einer Umdrehung alle Puncte des Randes der Scheibe in das Quecksilber der Rinne eintauchen müssen. Es ist einleuchtend, dass bei dieser Anordnung die nach einander mit der metallischen Flüssigkeit in Berührung tretenden Radien oder eigentlich kleinen

Ausschnitte der Scheibe dieselbe Rolle spielen werden, wie vorher die Speichen des Rädchens. Es entsteht daher ein anhaltender electrischer Strom, in der Richtung von der Axe zum Rande der Scheibe, wenn die Lage des Hufeisens und die Richtung der Bewegung dieselben bleiben wie in den vorhergehenden Versuchen. Bei umgekehrter Richtung der rotirenden Bewegung, oder wenn der Magnet die umgekehrte Lage erhält, wird auch die Richtung der Ströme umgekehrt.

Der bei diesem Versuche durch den Multiplicatordraht dringende Strom ist übrigens nur ein Theil der Electricität, welche durch den Hufeisenmagnet in der rotirenden Kupferscheibe inducirt wird, denn das gestörte electrische Gleichgewicht findet auch in der zusammenhängenden Metallmasse der Scheibe die nöthigen Mittel zur Ausgleichung. Es lässt sich aus diesem Grunde voraussehen, dass während der Umdrehung der Scheibe electrische Ströme selbst dann hervorgerufen werden müssen, wenn eine Ableitung derselben von der Axe und dem Rande aus nicht stattfindet.

Fig. 205.

Es bezeichne z. B. *N* (Fig. 205) den Nordpol eines Magnetstabs, nahe über dem Rande einer rotirenden Kupferscheibe, deren Bewegungsrichtung durch die neben der Peripherie angebrachten Pfeile angedeutet ist. Die inducirten Ströme werden dann ungefähr die durch Pfeile im Innern des Kreises bezeichnete Richtung nehmen. Eine Theilung des vom Rande nach der Axe zurückkehrenden Stroms in der angedeuteten Weise ist in der Natur der leitenden Masse begründet und entspricht auch der Erfahrung, dass ein Theil des Stroms mit gleicher Leichtigkeit rechts oder links von dem Magnetpole abgeleitet werden kann. Es ist nun einleuchtend, dass die inducirten Ströme bei dieser Richtung dahin trachten müssen, der Scheibe eine Bewegung in entgegengesetztem Sinne einzuprägen.

Wenn über der Mitte der Scheibe eine Magnetnadel schwebt, so äussern ihre beiden Pole einen dem so eben betrachteten ganz ähnlichen Einfluss; d. h. sowie die Scheibe in die drehende Bewegung versetzt wird, entbinden sich Ströme in dem Sinne wie es in Fig. 206 angedeutet ist. Man sieht leicht, dass die gemeinschaftliche Wirkung dieser Ströme derjenigen eines einzigen Stroms entspricht, welcher in der Richtung vom Südpol zum Nordpol unter der Nadel hergeht, und wodurch die letztere im Sinne der Umdrehung der Scheibe aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird. Da nun diese Einwirkung unausgesetzt fortdauert, so lange die Scheibe um ihre Axe gedreht

Fig. 206.

wird, so kommt es dass die Nadel bald ebenfalls eine rotirende Bewegung, in gleichem Sinne wie die Scheibe annehmen muss.

Dreht man die Magnetnadel über einer festliegenden Scheibe, so ist diess genau so als ob die letztere im entgegengesetzten Sinne bewegt würde. Die hierdurch erregten Vertheilungsströme streben folglich die Bewegung der Nadel aufzuhalten. Es leuchtet hieraus ein, dass Metallplatten, die man möglichst nahe unter einer Magnetnadel anbringt, die Eigenschaft besitzen ihre Schwingungsweiten zu dämpfen. Diese eigenthümliche Einwirkung rotirender Metallplatten auf die Magnetnadel ist zuerst von Arago, im Jahre 1824 beobachtet worden, und zwar im Verfolge der von ihm gemachten Bemerkung, dass die Schwingungen einer Magnetnadel über Metallen und anderen Stoffen beträchtlich in ihren Weiten verringert wurden, ohne merklich an Dauer zu verlieren, so dass bei rascher Abnahme der Schwingungsweiten die Gleichzeitigkeit blieb.

Alle hiermit zusammenhängenden Erscheinungen wurden mit dem Namen Rotationsmagnetismus bezeichnet, bis es Faraday gelang, dieselben aus der Gegenwart oder aus dem Auftreten magnet-electrischer Ströme zu erklären.

456. Ein sehr wirksames Hülfsmittel zur Erzeugung magnet-electrischer Ströme gewährt der entstehende oder verschwindende Magnetismus des weichen Eisens. Man schiebe in die Höhlung einer Drahtrolle einen cylindrischen Eisenkern und nähere dann dem einen oder andern Ende desselben einen Magnetpol, oder besser beiden Enden gleichzeitig die ungleichartigen Pole eines Hufeisenmagnets. Es wird ein Vertheilungsstrom erregt, von gleicher Richtung, jedoch weit grösserer Intensität, als der ohne Mitwirkung des Eisenkerns, bei gleicher Annäherung des Magnets hervorgerufene. Ein entgegengesetzt gerichteter Strom von gleicher Stärke entsteht bei der Entfernung des Magnets. Diese Wirkung des Eisenkerns ist ganz von derselben Beschaffenheit, als ob in die Höhlung des Drahtgewindes von der einen Seite ein Nordpol, von der andern ein Südpol, die in der Mitte sich zu einem Magneten vereinigen, hineingesteckt würden. Beide müssen in dem Gewinde gleichgerichtete Ströme hervorbringen, weil sie entgegengesetzte Richtung der Bewegung haben. Beim Abziehen verliert sich die Richtung der hypothetischen Ströme im weichen Eisen, nach Maassgabe als der vertheilende Magnet sich entfernt, und es ist daher eben so als ob die beiden ungleichartigen Pole nach entgegengesetzter Richtung aus der Drahtrolle herausgezogen würden.

Wenn der umwickelte Anker (der Inductor) eine feste Stellung erhält und der Hufeisenmagnet vor demselben um eine zwischen seinen Polen liegende und seinen beiden Schenkeln gleichlaufende Axe gedreht werden kann, so wird durch fortgesetzte Umdrehung eine Folge von Strömen oder richtiger von Stromwellen erzeugt.

So oft beide Magnetpole gleichzeitig vor dem Anker vorübergehen, erhält dieser ein Maximum der Polarität. Die Stromstärke ist aber dann Null. Während der Drehung bis 90° (d. h. bis die Linie, welche die Pole verbindet, die Stellung des Ankers winkelrecht durchkreuzt) verliert der Anker den ihm zuvor ertheilten Magnetismus, gewinnt dagegen bei fortgesetzter Drehung bis 180° den entgegengesetzten. Durch beide Veränderungen wird aber ein Strom von gleicher Richtung inducirt, und zwar mit anfangs steigender, dann wieder fallender Intensität, in der Weise, dass das Maximum der Stromstärke allemal dann eintritt, wenn die magnetische Polarität des Ankers Null geworden ist. Bei der folgenden halben Umdrehung wiederholen sich alle Verhältnisse wie vorher, nur hat die gebildete Stromwelle die entgegengesetzte Richtung der früheren. Positive und negative Ströme folgen also auf einander, von einer halben Umdrehung zur andern. Doch kann bei grosser Rotationsgeschwindigkeit, wegen der zur Umkehrung der Polarität des Ankers erforderlichen Zeit, um etwas die Lage der Null- und Maximumspuncte verschoben werden. Die Wirkungen zweier auf einander folgender Stromwellen auf die Magnetnadel sind gleich an Grösse, da sie aber in der Richtung entgegengesetzt sind, so heben sie sich wechselseitig auf. So kommt es, dass bei rascher Umdrehung des Hufeisenmagnets um seine Axe und richtiger Einstellung der Multiplicatorsnadel, die in der Drahtrolle inducirten Ströme wohl ein Erzittern aber keine bestimmte Ablenkung derselben bewirken können *).

Die verschiedenen galvanometrischen Werkzeuge mit Magnetnadeln sind also unbrauchbar, um die absolute Stärke einer Folge derartiger Ströme oder Stromwellen zu messen. Das electrische Dynamometer zeigt in dieser Beziehung eine sehr bemerkenswerthe Verschiedenheit. Geht ein electrischer Strom zugleich durch die feste und durch die bewegliche Rolle, so findet eine Umkehrung der Richtung desselben gleichzeitig in beiden Rollen statt. Die Ablenkungen der Bifilarrolle sind folglich ganz unabhängig von der Richtung der durchlaufenden Ströme. Man sieht hieraus, dass die Kraft der auf einander folgenden Wellen eines Inductionsstroms mittelst des Dynamometers eben so sicher gemessen werden kann, als ob dieser Strom eine gewisse Richtung der Bewegung unverändert beibehielte.

Auf diese Weise ist es W. Weber gelungen, Inductionsströme wahrzunehmen, welche in einer Drahtrolle durch die vibrirende Bewegung einer zum Tönen angeschlagenen magnetisirten Stahlstange hervorgebracht wurden. (A. a. O. S. 297.)

---

*) Wenn vor Anstellung des Versuchs die Drahtwindungen der Axe der Nadel nicht genau parallel standen, so erfolgt gleichwohl eine starke Ablenkung bis zu 90°, und zwar immer nach der Seite, nach welcher gleich anfangs eine Abweichung stattfand. (Pogg. Ann. 45. 353.)

457. Geräthschaften, wie die vorher erwähnte, welche dienen können magnet-electrische Ströme in unausgesetzter Folge zu gewinnen, indem ein Hufeisenmagnet vor einem Inductor oder umgekehrt, der letztere vor den Polen des ersteren in rotirende Bewegung gesetzt wird, nennt man magnet-electrische Maschinen. Sie werden je nach den Zwecken ihres Gebrauchs in mannichfaltigen Grössenverhältnissen ausgeführt. Der wesentliche Theil der inneren Einrichtung wird sich aus der folgenden Beschreibung einer kleineren von Stöhrer in Leipzig*) hauptsächlich zu medicinischem Gebrauche bestimmten Maschine ergeben. *a a'* ist der Inductor in Hufeisenform; er ist vor den Polen *m m'* eines Hufeisenmagnets um die wagerechte Axe *c c* beweglich. Das hierzu erforderliche Triebwerk besteht aus der Kurbel *b*

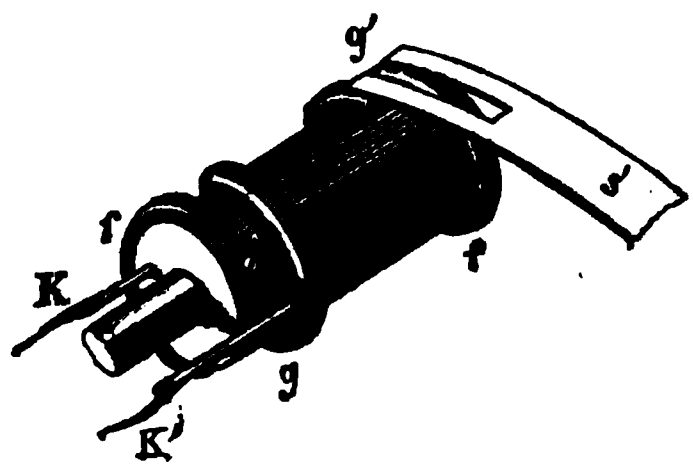
Fig. 207.

und den Rollen *R* und *r*, von welchen die erstere auf der Kurbelaxe, die kleine Rolle *r* aber auf der Inductor-Axe *c c* sitzt. Beide Rollen sind von Holz, am Rande mit Leder umspannt und wider einander gepresst. Die hierdurch entstehende Reibung genügt um die drehende Bewegung von der grossen auf die kleine Rolle zu übertragen. Der Magnet besteht aus 5 Lamellen, jede von 5 Mmtre Dicke; sie sind zusammengeschraubt, an der Vorderseite eben ab-

*) Pogg. Ann. B. 61. S. 417. Ueber ältere Anordnungen von Pixii, Saxton, Clarke, vergleiche man: Pogg. Ann. B. 27. 390 u. 398. B. 39. 401.

geschliffen und können mittelst der Schraube *d* der Vorderseite des Inductors genähert oder davon entfernt werden. Auf der eisernen Welle *c c* sitzt ein hohler Messingcylinder *e*, der in Fig. 208 in grösserem Maassstabe zu sehen. Er kann mittelst der Schraube *v* in jeder Stellung auf der Welle befestigt werden. Den mittleren Theil dieses Cylinders umgibt ein zweites Messingrohr *gg'*, welches von dem ersteren durch Holz und Siegellack aufs sorgfältigste isolirt ist. Jede von beiden Abtheilungen des hohlen Cylinders trägt zwei stählerne Halbringe, welche so gerichtet sind, dass *f* und *f'*, die auf der einen Abtheilung aufgelöthet sind, ferner *g* und *g'*, die auf dem andern sitzen, sich je zu einem vollständigen Ringe ergänzen. Die von den Inductionsrollen *a* und *a'* auslaufenden Drähte sind an Stiften *K* und *K'* befestigt, wodurch das eine Drahtende mit dem äusseren, das andere mit dem inneren Cylinder in leitende Verbindung gesetzt wird. Mittelst der federnden Stahlstreifen *s* und *s'*, welche an dem Gestelle angeschraubt sind und während der Umdrehung der Axe über die Halbringe schleifen, kann dann die entwickelte Electricität weiter fortgeführt

Fig. 208.



werden. Die Streifen *s* und *s'* sind, wie man bemerkt, gabelförmig ausgeschnitten und so über den Halbringen angebracht, dass von einer halben Umdrehung zur andern, abwechselnd der äussere und innere Cylinder mit jeder Gabel in Berührung kommen muss. In demselben Augenblick z. B., da der Halbring *g'* den Streifen *s'* verlässt, wird der Halbring *g* (der gleichwie *g'* auf dem inneren Cylinder sitzt) von dem Streifen *s* ergriffen. Bei dieser Anordnung und eine richtige Stellung der Halbringe gegen die Inductionsrollen vorausgesetzt, wird es möglich, die auf einander folgenden entgegengesetzten Vertheilungsströme zu einem einzigen gleichartigen und also auch durch seine Einwirkung auf die Galvanometernadel messbaren Strome zu vereinigen.

Dieser ganze Apparat befindet sich in einem verschliessbaren Kästchen von Holz von weniger als 1 Fuss Länge und eignet sich daher vorzugsweise zum Transporte.

458. Wenn der Inductor einer magnet-electrischen Maschine, welche ähnlich der vorhergehenden mit einem Commutator, d. h. mit einer Vorrichtung versehen ist, den auf einander folgenden positiven und negativen Strömen einerlei Richtung zu ertheilen, mit möglichst gleichförmiger Geschwindigkeit gedreht und der gebildete Strom um eine Magnetnadel geführt wird, so nimmt die letztere sehr bald eine feste Stellung an, als Beleg, dass der circulirende Strom eine beständige Stärke besitzt. Die ablenkende

Kraft nimmt zu bei zunehmender Schnelligkeit der Umdrehung, jedoch in etwas geringerem Verhältnisse als die Geschwindigkeit, so dass über eine gewisse Gränze hinaus nichts mehr gewonnen wird. Der Grund ist in dem Umstande zu suchen, dass für die Umkehrung der magnetischen Polarität des rotirenden Ankers stets eine gewisse Zeit erfordert wird.

Das folgende von W. Weber angegebene Verfahren ist geeigneter, den Einfluss der Zeit auf die Stärke eines inducirten Stroms zu ermessen. Ein cylindrischer Stab von weichem Eisen, etwa ein Metre lang, werde an beiden Enden mit den gleichartigen Polen sehr kräftiger Magnete in Berührung gesetzt. Angenommen es seyen die positiven Pole, so bemerkt man, dass der Stab fast seiner ganzen Länge nach und überall so ziemlich gleich stark positiv magnetisch geworden ist. Hatte man nun vor dem Anlegen der Magnete eine Drahtrolle über den cylindrischen Stab geschoben, so lassen sich durch jede Hin- und Herbewegung derselben electrische Ströme hervorrufen, und zwar findet man, dass die Stärke eines Stroms der Länge des Wegs, den die Rolle zurückgelegt, fast genau proportional ist.

Beschreibt die Drahtrolle bei mehreren hinter einander folgenden Versuchen immer dieselbe Länge des Wegs, während der in ihr erzeugte Strom durch die Multiplicatorwindungen der langsam schwingenden Magnetometernadel geht, so erhält man immer dieselbe Grösse der Ablenkung, ob nun die Bewegung rasch oder langsamer vor sich gegangen ist. Man erkennt hieraus: dass die Menge der durch electrodynamische Vertheilung frei werdenden Electricität nicht von der Schnelligkeit der Einwirkung, sondern nur von dem Wege abhängig ist, den die vertheilende Kraft bei gleichförmig fortdauernder Einwirkung zurücklegt. Was dagegen die Stromstärke oder diejenige Electricitätsmenge betrifft, welche gleichzeitig durch jeden Querschnitt des Drahts eilt, so ergibt sich, dass diese in geradem Verhältnisse zur Geschwindigkeit der inducirenden Bewegung steht.

459. Lässt man den einer gewissen Länge des Wegs entsprechenden Inductionsstrom durch den Draht eines gewöhnlichen Multiplicators (368) mit einfacher oder astatischer Doppelnadel laufen, so steht die Grösse der Ablenkung nur dann in einfacher Beziehung zur gebildeten Electricitätsmenge, wenn der Strom die Drahtwindungen bereits durcheilt und die ganze Kraft seines Stosses auf die Nadel bereits übertragen hat, bevor dieser Zeit gegeben wurde ihre Ruhelage zu verlassen. In diesem Falle ist also die Schnelligkeit der Einwirkung von grosser Bedeutung für den Werth der gewonnenen Resultate. Der Grund liegt, wie leicht einzusehen darin, weil die ablenkende Kraft des Stroms bei verschiedenen Stellungen der Nadel nicht gleich bleibt.

Die Geschwindigkeit, welche die Galvanometernadel durch den

senkrechten Stoss eines Stroms von nur augenblicklicher Dauer empfängt, wird allmählig durch die rückführende Kraft des Erdmagnetismus wieder aufgehoben. Der unterdessen beschriebene Bogen sey α. Denkt man sich die gesammte Kraft des Stosses in eine gleichförmig fortwirkende Kraft verwandelt, immer senkrecht gegen die Axe der Nadel thätig und auf die Zeit einer ganzen Schwingung vertheilt, so würde derselbe Bogen α zurückgelegt werden müssen. Die Bewegung würde aber in diesem Falle von der Wechselwirkung zweier Kräfte abhängig seyn, die sich um den Mittelpunkt des Bogens α im Gleichgewicht halten müssten, und von welchen die eine, nämlich die erdmagnetische Kraft die Grösse $T \sin \frac{\alpha}{2}$ besässe. Die Kraft des Stosses oder was hier dasselbe ist, die Menge der in Umlauf gesetzten Electricität verhält sich demnach wie das Product des Erdmagnetismus in den Sinus des halben Ablenkungsbogens. Man gewinnt hierdurch ein Mittel die Kräfte verschiedener Inductionsströme von sehr kurzer Dauer unter einander zu vergleichen.

460. Durch Maassbestimmungen, welche auf dem so eben beschriebenen Wege ausgeführt wurden, hat Lenz (Pogg. Ann. 34. 385) zuerst bewiesen: Dass die electromotorische Kraft, welche unter dem vertheilenden Einflusse eines Magnets, der gleichmässig auf alle Windungen einer Drahtrolle einwirkt, in dieser letzteren geweckt wird, bei gleicher Grösse der Windungen im geraden Verhältnisse zu ihrer Anzahl steht, und von der Dicke sowie von dem Stoffe des Drahts ganz unabhängig ist.

Aus einem Leitungsdrahte von gegebener Länge, dessen Enden mit denen des Multiplicatordrahts verbunden waren, wurde eine von Versuch zu Versuch zunehmende Anzahl gleichgrosser, neben einander liegender Windungen gebildet, auf welche man dann den inducirenden Magnet eine sehr kurze Zeit und immer mit gleicher Stärke einwirken liess. Da, wie bemerkt, die Drahtverbindung unverändert blieb, also der Leitungswiderstand bei allen Versuchen gleich war, so musste nach dem Ohm'schen Gesetze die electromotorische Kraft sich genau wie $\sin \frac{\alpha}{2}$ verhalten.

So sind z. B. die folgenden Resultate gewonnen worden, aus welchen das angeführte Gesetz sehr deutlich hervortritt.

Zahl der Windungen	Ablenkung α	$\sin \frac{\alpha}{2}$
5	8,63	0,07525
10	17,40	0,15126
15	26,45	0,22875
20	35,25	0,30278
25	45,10	0,38349
30	55,05	0,46213.

Lenz hat ferner gefunden, dass Windungen von ungleicher Weite zur Grösse der inducirten electromotorischen Kraft dennoch gleichviel beitragen wenn, wie diess z. B. bei der vorher erwähnten Weber'schen Anordnung leicht erreicht werden kann, der inducirende Anker oder Magnetstab sich auf beiden Seiten der Rolle auf eine verhältnissmässig grosse Entfernung hin erstreckt. Liegen dagegen einige Windungen vergleichungsweise zu andern dem Rande des inducirenden Magnets sehr nahe, so kommen sie gegen die letzteren etwas in Nachtheil. Die folgende allgemeine Regel umfasst alle Verhältnisse: Die electromotorische Kraft einer Drahtrolle ist gleich der Summe der electromotorischen Kräfte ihrer einzelnen Windungen.

Man erkennt leicht, dass dieses Verhalten gerade das umgekehrte von dem ist, was früher über die magnetisch vertheilende Kraft des Kreisstroms auf einen durch seine Axe gelegten Eisenkern, bewiesen wurde. Auch erklärt es sich ganz auf dieselbe Weise und liefert dadurch einen Beweis, dass die inducirende Kraft eines Magnetelements auf ein Element einer benachbarten Metallmasse dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist. Verhalten sich also die Weiten zweier Ringe von einerlei Drahtdicke wie 1 : 2, so verhalten sich die Electricitätsmengen, welche in jedem Elemente derselben durch Vertheilung frei werden wie 2 : 1; da aber der weitere Ring die doppelte Masse des engeren besitzt, so wird gleichwohl in beiden eine gleiche Electricitätsmenge in Freiheit gesetzt; dergestalt dass bei gleicher reducirter Länge des gesammten Schliessungsdrahts eine gleiche Menge von Electricität in Umlauf kommen muss.

Wenn man, immer dieselbe Anzahl Windungen beibehaltend, die Drahtdicke verändert, zugleich aber dafür Sorge trägt, dass der reducirte Leitungswiderstand der gesammten Drahtverbindung unverändert bleibt (indem man z. B. eine verhältnissmässige Länge Regulatordraht einschliesst oder herauszieht), so erhält man unter dem Einflusse derselben inducirenden Kraft stets denselben Ausschlag der Nadel. Vermindert sich dagegen bei zunehmender Drahtdicke in gleichem Maasse der Widerstand der ganzen Drahtverbindung, so steigt die in Umlauf gesetzte Electricitätsmenge proportional mit der Querschnittsfläche. Vergrösserung der Drahtmasse ist also nur in so fern von Nutzen, als dadurch der Leitungswiderstand vermindert wird. Eben so äussert auch die Materie des Drahts keinen andern Einfluss, als den, welcher ihr gemäss ihres Leitungsvermögens nach dem Ohm'schen Gesetze zukommt.

Wir sind jetzt im Stande, die Beschaffenheit des zu einer magnet-electrischen Maschine zu verwendenden Drahtes, je nach der besonderen Bestimmung dieser Maschine im Voraus zu beurtheilen. Im Allgemeinen erscheint Kupferdraht wegen seines grossen Leitvermögens vorzugsweise zu diesem Zwecke geeignet. Wo

ausserhalb der Drahtrolle sehr bedeutende Leitungswiderstände überwunden werden müssen (wenn z. B. inducirte Electricität durch Flüssigkeiten oder durch den menschlichen Körper gehen soll), bedarf es einer grossen electromotorischen Kraft, also vieler Windungen, während die Drahtdicke nur gering zu seyn braucht. Ist dagegen der äussere Widerstand gering, so kommt es hauptsächlich darauf an, dicke Drähte bei einer mässigeren Anzahl Windungen und eine recht starke inducirende Kraft, d. h. starke Magnete zur Verfügung zu haben.

Eine von W. Weber gegebne Anleitung: das Maass der Wirksamkeit magnet-electrischer Maschinen zu bestimmen, findet man in Pogg. Ann. 61. 431.

Da die Electricitätsmenge, welche in einem Drahtgewinde durch Induction erregt werden kann, von der Leitfähigkeit des Stoffes in einer gewissen Abhängigkeit steht, die sich nach dem Ohm'schen Gesetze vorhersehen lässt; so ist hierdurch ein Mittel gegeben, aus der Stärke des inducirten Stroms das Leitungsvermögen selbst abzuleiten. Gesetzt man bringe nach und nach Drahtrollen von gleicher Windungszahl aber verschiedenartigen Metallen in Verbindung mit den Ausläufern des Multiplicators, und erzeuge den Inductionsstrom immer durch dieselbe magnetische Kraft; so wird jeder Versuch zu einer Gleichung führen von der Form: $\sin\frac{1}{2}\alpha = \frac{K}{R+r}$, worin K die Summe der electromotorischen Kräfte sämmtlicher Windungen, R den Widerstand des Multiplicatordrahts, r den Leitungswiderstand der Drahtrolle vorstellt, und woraus gefunden wird $r = \frac{K - R\sin\frac{1}{2}\alpha}{\sin\frac{1}{2}\alpha}$

Nach dieser Methode hat Lenz das bereits früher (420) mitgetheilte Leitungsvermögen einiger Metalle bei verschiedenen Temperaturen ausfündig gemacht. (Pogg. Ann. 34. 418; 44. 345; 45. 105.)

Ein ähnliches Verfahren hat Lenz späterhin mit Jakobi gemeinschaftlich angewendet um die Gesetze der Electromagnete zu studiren. Ein electrischer Strom von bekannter oder doch messbarer Stärke wurde nämlich benutzt einen Electromagneten zu erzeugen, der seinerseits wieder in einem zweiten ihn umgebenden Drahtgewinde einen Inductionsstrom hervorrief, dessen Stärke durch die Multiplicatornadel gemessen wurde. Dabei nahm man an: dass ein Strom der durch Verschwinden des Magnetismus im Eisen entsteht, diesem Magnetismus selbst proportional sey. Die betreffenden sehr umfassenden Untersuchungen finden sich in Pogg. Ann. B. 47. S. 225 u. 401; B. 51. S. 358; B. 61. S. 254 u. 448. Die Resultate derselben sind von den früher (N. 440) mitgetheilten, auf ganz anderem Wege erhaltenen im Wesentlichen nicht abweichend.

461. Sind die auf einander folgenden entgegengesetzten Ströme mit Hülfe eines geeigneten Commutators nach einerlei Richtung geleitet, so lässt sich nach dem Ohm'schen Gesetze electromotorische Kraft und Stromstärke mit dem Galvanometer messen, wodurch es möglich wird, die Wirksamkeit magnet-electrischer Maschinen auf diejenige der galvanischen Kette zurückzuführen. Die bei rascher und gleichförmiger Umdrehung des Inductors gebildeten Vertheilungsströme lenken die Magnetnadel fast mit derselben Beständigkeit ab, wie der Strom einer constanten

galvanischen Kette, und können daher innerhalb der Grenze der Stärke, welche sie besitzen, den letzteren vollständig ersetzen; um z. B. dünne Metalldrähte zum Glühen oder selbst zum Schmelzen zu bringen, Electromagnete zu bilden, electrodynamische Erscheinungen hervorzurufen, chemische Zersetzungen zu bewirken u. s. w. Dabei besitzt die magnet-electriche Maschine den nicht unwesentlichen Vorzug, jeden Augenblick des Bedarfs ohne weitere Vorbereitungen zur Verfügung zu seyn. Ihre Anwendbarkeit in den meisten Fällen ist gegenwärtig noch dadurch beschränkt, dass selbst mit den kräftigsten Maschinen, die bis jetzt ausgeführt worden sind, unter übrigens gleich günstigen Bedingungen, eine derjenigen eines einzigen Kohlen-Zinkpaares gleiche Wirksamkeit nicht erreicht werden konnte.

Durch Benutzung eines sehr einfachen Hülfsmittels, nämlich durch wiederholte Unterbrechung des Inductionsstroms, immer in dem Augenblicke da er das Maximum seiner Stärke erreicht hat, ist es gleichwohl gelungen, selbst mit Maschinen von weit geringerer Kraft als die vorher bezeichnete, eine ziemlich lebhafte Wasserzersetzung hervorzubringen, heftige electrische Schläge zu ertheilen und starke, glänzende Funken zu erzeugen. Unterbrechungen der metallischen Schliessung des Inductordrahtes während der Umdrehung lassen sich auf manoherlei Weise bewerkstelligen. Bei der Stöhrer'schen Maschine geschieht es dadurch, dass die stählernen Ringsegmente, welche in Verbindung mit den beiden auf ihnen schleifenden gabelförmigen Stahlfedern den Commutator bilden, um ein weniges grösser als Halbkreise sind, wodurch, wie leicht einzusehen, zweimal bei jeder Umdrehung eine unmittelbare Schliessung der Kette hergestellt wird, dergestalt dass während eines Augenblicks die Verbindung der Stahlfedern mittelst eines in den Schraubenklemmen *k* und *k'* (Fig. 208) befestigten Leiters nur als Nebenschliessung erscheint. Ist diese Nebenschliessung ebenfalls gut metallisch, so wird die Circulation der inducirten Electricität keinen Augenblick unterbrochen, nur theilt sich der Strom zweimal bei jeder Umdrehung, in der Weise, dass ein Theil unmittelbar von einem Ringsegmente zu dem nebenliegenden übergeht, ein anderer Theil der Nebenschliessung folgt. Ist aber die letztere nur unvollkommen oder gar nicht bewerkstelligt, so zeigen sich electrische Funken bei jeder Unterbrechung des Stroms, d. h. so oft die schleifenden Federn das eine oder andere Ringsegment verlassen. Wenn der Inductor aus Windungen eines dicken Drahtes besteht, so sind die Funken stark und glänzend, und bei rascher Umdrehung erhält man einen Strom von electrischem Lichte, begleitet von lebhaftem Sprühen verbrennender Eisentheilchen. Wird die Nebenschliessung durch einen Wasserzersetzungsapparat gebildet, so beginnt die Gasentwicklung sogleich mit der Umdrehung des Inductors. Werden die Federn, oder besser die da-

mit in Verbindung stehenden Metallstücke L und L' (Fig. 207) mit den Händen gefasst, so erhält man zwei Schläge bei jeder Umdrehung. Durch schnelle Umdrehung können daher diese Nervenerschütterungen sehr gehäuft und dadurch bis ins Unerträgliche gesteigert werden. Die magnet-electrischen Maschinen werden am häufigsten zur Hervorbringung physiologischer Erscheinungen benutzt, weil zu diesem Zweck auch kleinere Apparate, wie der oben beschriebene von Stöhrer, vollkommen genügen.

462. Die durch Unterbrechung momentan gesteigerte Thätigkeit des magnet-electrischen Stromes beruht auf einer sehr merkwürdigen vertheilenden Einwirkung, welche die Inductionsströme und überhaupt electrische Ströme aller Art im Augenblicke ihres Entstehens und während ihrer Intensitätszunahme, so wie während ihres Verschwindens auf die natürlichen electrischen Flüssigkeiten des Leiters ausüben, durch den sie ihren Weg nehmen; einer Einwirkung, die übrigens ihrem Wesen nach von ganz analoger Art ist, wie die bisher betrachteten Inductionserscheinungen. (Pogg. Ann. B. 35. S. 413. B. 56. S. 251.)

Man verbinde die beiden Platten eines constanten electrischen Paares durch einen kurzen Draht; man wird dabei, wie man auch verfahren mag, nur schwache Funken und keinen merklichen Schlag erhalten. Verwendet man aber als Schliessungsdraht eine Schraubenrolle und hat man in diese einen Eisenkern eingeschoben, so fühlt man beim Oeffnen der Kette, wenn man zuvor beide Drahtenden mit den Händen gefasst hatte, einen Schlag. Zugleich zeigt sich an der Trennungsstelle ein heller Funke, und wenn der Draht aus Quecksilber gezogen wird, bedeutende Verbrennung desselben. Im Augenblicke der Schliessung wird weder ein Funken noch die geringste Nervenerschütterung bemerkt. Es liegt nahe, das Ausbleiben des Funkens im letzteren Falle als eine Folge des vermehrten Leitungswiderstandes zu betrachten, die erhöhte Wirkung beim Oeffnen aber dem Stosse, also einem rein mechanischen Effecte der einmal im Bewegungszustande befindlichen Electricität zuzuschreiben. Diese Ansicht der Sache ist jedoch unrichtig; denn wenn man zwei lange Drähte neben einander um einen Eisenkern wickelt und sie dann so unter einander und mit der galvanischen Kette verknüpft, dass der Strom beide Gewinde nach entgegengesetzter Richtung durchlaufen muss, so zeigt sich weder beim Oeffnen noch beim Schliessen ein stärkerer Funken als bei der Anwendung eines kurzen Drahtes. Dass der verstärkte Trennungsfunken überhaupt nicht von einer Vermehrung der circulirenden Electricitätsmenge herrühren kann, zeigt am deutlichsten der folgende Versuch: Man verbinde das eine Ende des Inductordrahtes einer magnet-electrischen Maschine mit dem Multiplicatordrahte eines Galvanometers, schliesse die Kette durch einen dünnen Argentandraht und messe die Stärke des z. B. durch eine

halbe Umdrehung inducirten Stroms. Man schliesse sodann eine Drahtrolle mit eingeschobenem Eisenkern in dieselbe Kette ein, entferne aber dafür so viel Argentandraht, dass der Gesammtleitungswiderstand unverändert bleibt; man wird finden, dass die durch eine halbe Umdrehung erzeugte Electricitätsmenge sich ebenfalls nicht geändert hat. Da demnach durch Einschliessung eines Electromagnets in den Kreislauf eines electrischen Stroms die Quantität bewegter Electricität im Ganzen weder vermehrt noch vermindert wird, so kann die geschwächte Wirksamkeit beim Schliessen der Kette, so wie die gesteigerte beim Oeffnen, nur darin ihren Grund haben, dass unter dem Einflusse des Electromagnets der Strom in der ersten Periode seiner Circulation geschwächt, dafür aber in der letzten Periode um eben so viel wieder verstärkt worden ist.

Eine Drahtrolle ohne Eisenkern äussert einen ganz ähnlichen Einfluss, jedoch in vermindertem Grade. Ein langer, nicht gewundener Draht gibt ebenfalls beim Oeffnen einen stärkern Funken als beim Schliessen, nur ist die Wirkung noch weniger auffallend, als bei demselben Drahte, nachdem man daraus ein Schraubengewinde gebildet hatte, wiewohl weit auffallender als bei unmittelbarer Schliessung der Kette. So wie die Länge des Schliessungsdrahtes wächst, steigert sich die Wirkung (Trennungsfunke und Schlag) verhältnissmässig, bis sie über eine gewisse Gränze hinaus wegen allzusehr vermehrten Leitungswiderstandes wieder abnimmt.

Alle diese Erscheinungen zeigen darauf hin, dass der electrische Strom, während seine Intensität zunimmt, in der Masse des Leiters, welchen er durchläuft, einen Strom in entgegengesetzter Richtung inducirt, und dass er dadurch im ersten Augenblicke seine eigne Wirksamkeit schwächt; dass er dagegen beim Oeffnen der Kette, also während der dem Verschwinden vorangehenden Intensitätsabnahme, in der Drahtmasse einen gleichgerichteten Strom inducirt, durch dessen Hinzutritt seine eigne Wirksamkeit erhöht wird. Ist der Schliessungsdraht lang und zu einer Schraube aufgerollt, so werden diese Wirkungen sehr gesteigert, weil eine jede Windung eine vertheilende Kraft auf die benachbarten ausübt und selbst wieder dem Einflusse dieser unterworfen ist. Durch Einschieben eines Eisenkerns in die Rolle erhält man eine noch mehr verstärkte Wirkung, indem der verschwindende Magnetismus des Eisens beim Oeffnen der Kette in gleichem Sinne wirkt, wie der verschwindende Strom im Drahte.

Die besondere Art Inductionsströme, welche wir so eben kennen gelernt haben, deren eigenthümliche Wirksamkeit gleichsam nur darin besteht, die Entladungszeit des erzeugenden Stromes abzukürzen und dadurch, ohne Aenderung seiner Quantität dennoch seine Intensität zu steigern, sind von ihrem Entdecker, Faraday,

Nebenströme (Extracurrent) genannt worden. Oefters nennt man sie auch inducirte Ströme zweiter Ordnung.

463. Der aus dem Auftreten der Nebenströme hervorgehende Nutzen kann in sehr auffallendem Grade erhöht werden, wenn man anstatt des massiven Eisenkerns ein Bündel Eisendrähte, welche durch Firnissüberzug isolirt sind, in die Höhlung der Drahtrolle einschiebt.

Ueber den Grund dieses Verhaltens geben die folgenden Versuche und Erfahrungen befriedigenden Aufschluss. Von zweien gleich langen Drähten (*a* und *b*), die neben einander um einen Eisenkern gewickelt sind, werde der eine (*a*) durch Verknüpfung seiner Enden unmittelbar metallisch geschlossen, der andere (*b*) mit einer electrischen Kette verbunden. Man erhält beim Oeffnen des letzteren keinen Schlag und keine merkliche Verstärkung des Funkens; diese Verstärkung tritt aber alsbald ein, wenn man die Enden des andern Drahtes (*a*) getrennt lässt, so dass kein Inductionsstrom darin zur Entwicklung kommen konnte. Die Bildung eines Nebenstroms oder Inductionsstroms zweiter Ordnung in der Masse des Hauptleiters (*b*) selbst wird also verhindert oder doch sehr aufgehalten, wenn in einem gleichlaufenden Nachbardrahte (*a*) ein Strom inducirt werden kann. — Bringt man in die Höhlung der Drahtrolle an die Stelle des Eisenkerns einen geschlossenen Cylinder von Kupferblech, so kann die Wirkung des Nebenstroms ebenfalls nicht aufkommen. Dieses Verhalten ist dem vorhergehenden ähnlich, denn man weiss, dass ein electrischer Strom im Augenblicke seines Verschwindens in einem Blechcylinder, den er umkreiste, Kreissströme von gleicher Richtung inducirt. Die Entwicklung dieser Ströme wird verhindert, wenn der Blechcylinder der Länge nach aufgeschlitzt ist, ganz so wie in dem Schraubendrahte (*a*) durch Lösung der verknüpften Enden. In der That zeigt ein aufgeschlitzter Blechcylinder keinen Einfluss auf die Wirksamkeit der Drahtrolle. Ein geschlossener Cylinder von Eisenblech oder auch ein massiver Eisenkern, als gute Leiter der Electricität und ganz abgesehen von ihrer magnetischen Thätigkeit, müssen sich in der Höhlung der Drahtrolle ähnlich wie der Kupfercylinder verhalten. D. h. während des Verschwindens des in den Drahtwindungen circulirenden ursprünglichen Stroms, so wie während des Verschwindens der magnetischen Polarität, oder wenn man so will, der gleichgeltenden hypothetischen Ströme des Eisenkerns werden an der Oberfläche desselben gleichgerichtete Ströme erzeugt und dadurch das Verschwinden des Magnetismus verzögert. Jede Unterbrechung des metallischen Zusammenhangs des Eiseninhaltes erschwert das Auftreten und die Circulation dieser Inductionsströme und steigert also die Intensität des in der Drahtmasse erregten Nebenstromes, indem die für das Verschwinden der mag-

netischen Kraft des weichen Eisens erforderliche Zeit abgekürzt wird. (Pogg. Ann. B. 48. S. 95. B. 49. S. 72.)

464. Da durch Vermittlung von Inductionsströmen zweiter Ordnung die Möglichkeit gegeben ist, die Intensität eines electrischen Stroms auf eine in der That überraschende Weise zu erhöhen, so bedarf es nur noch einer geeigneten Vorkehrung, den metallischen Zusammenhang in regelmässiger Folge und mit genügender Schnelligkeit zu unterbrechen, um mit galvanischen Ketten von an und für sich mässiger Triebkraft, Erscheinungen zu bewirken, die man sonst nur mit kräftigen electrischen Säulen hervorzubringen vermochte, wie Wasserzersetzung, starke Funken, Erglühen von Kohlenspitzen, eine Folge von Schlägen u. s. w.

Das von Neeff erfundene Blitzrad (Fig. 131, S. 276) ist eine derartige Vorrichtung. Man leite das eine Ende eines constanten electrischen Elementes, z. B. eines Daniell'schen Kupfer-Zinkpaares zu der Axe des Blitzrades, das andere zu einer Inductionsrolle (500 — 600 Umwindungen eines Drahtes von 1 Millimetre Dicke), welche den Strom weiter zu dem Kupferstreifen des Blitzrades führt und dadurch die Kette schliesst. Man wird dann bei jeder durch Umdrehung der Scheibe bewirkten Unterbrechung das Ueberspringen eines Funkens bemerken; gleichzeitig erhält man einen Schlag, wenn man die Drahtenden der Rolle, welche zu diesem Zwecke am Besten in dicke cylindrische Metallstücke ausgehen, mit den Händen gefasst und dadurch eine Nebenschliessung bewerkstelligt hatte.

Durch eine höchst sinnreiche Vorrichtung, welche Neeff, unterstützt durch das mechanische Talent Wagners bei dem magnetelectromotorischen Apparate anbrachte (Pogg. Ann. B. 46. S. 104.), können die Unterbrechungen unter der Einwirkung des Stromes selbst besorgt werden. Das Blitzrad wurde dadurch entbehrlich gemacht. Fig. 209 zeigt den Neeff'schen Magnetelectromotor in ¼ der natürlichen Grösse und in der sehr zweckmässigen Gestalt, welche demselben gegenwärtig von dem Mechanikus Desaga in Heidelberg gegeben wird. — Die Drahtrolle von länglich runder Gestalt ruht auf einer Holzunterlage. Ihre Höhlung ist mit Bündeln von weichem Eisendraht ausgefüllt. Zwei dieser Draht-

Fig. 209.

stücke, oben und unten mit Schrauben versehen, dienen zugleich um das Bodenbrett mit dem Brettstücke *n n* und der Rolle zusammenhalten. *a a'* ist ein federnder Kupferstreifen, der bei *a'* fest gehalten wird und bei *b* eine kleine Platte von weichem Eisen trägt. Letztere schwebt über den an dieser Stelle etwas höher hinaufsteigenden Eisenstiften der Inductionsrolle, ohne jedoch damit in Berührung kommen zu können. Das Ende des Kupferstreifens bei *a* ist mit einem Platinblättchen bedeckt, das gegen eine Platinspitze drückt, die an der Schraube *c* fest sitzt. Die Schrauben *c* und *d* dienen um die Stellungen der Eisenplatte *b*, so wie der Platinspitze *a* zu reguliren. *s* und *t* sind die Enden des Schraubendrahts. Wird nun das Drahtende *t* in einer Oeffnung des Bügels *u*, ein Leitungsdraht *s'* in einer Oeffnung des Bügels *u'* festgeklemmt und verbindet man *s* und *s'* mit den Polen des galvanischen Paares, so geht der bei *s* eindringende Strom, nachdem er alle Drahtwindungen durcheilt hat bei *t* in den Bügel *u*, gelangt so zu der Platinspitze und dem Kupferstreifen und nimmt durch den Bügel *u'* seinen Rückweg zu der Quelle. Die Eisenstifte in der Drahtrolle, magnetisch geworden, ziehen die Eisenplatte *b* an; weil aber hierdurch das vordere Ende des Kupferstreifens von der Platinspitze entfernt und also die Kette unterbrochen wird, so verliert sich der Magnetismus des Electromagnets sogleich wieder und der Streifen wird durch seine Federkraft von Neuem gegen die Spitze gedrückt, um alsbald wieder entfernt zu werden u. s. w. Die auf diese Weise hin- und hergehende Bewegung ist gewöhnlich nicht sichtbar, sie lässt sich aber leicht aus dem hieraus entstehenden dumpfen Tone erkennen. Zugleich bemerkt man zwischen Spitze und Platinblättchen einen lebhaften Funkenübergang. Bringt man an den Drahtenden, bei *s* und in dem Bügel *u*, eine Nebenschliessung an, so vermindert sich die Lebhaftigkeit des Funkenübergangs, weil jetzt ein Theil der Electricität diesen andern Weg nimmt. Mittelst dieser Nebenschliessung und zweier Daniell'scher Elemente lassen sich alle die Erscheinungen hervorrufen, welche sonst nur unter dem Einflusse weit bedeutenderer electromotorischer Kräfte hervortreten. Die Wirkung auf den menschlichen Körper ist überaus mächtig; die Schläge pflanzen sich durch eine Reihe von mehreren Personen fort, wenn diese sich mit benetzten Händen anfassen. Endigen die Nebenleiter in Metallgefässen, die mit Wasser gefüllt sind, so wird die Einwirkung auf die eingetauchten Finger zu einer solchen Heftigkeit gesteigert, dass sie von wenigen Personen länger als einige Augenblicke ertragen werden kann. Schliesst man die Nebenleitung durch Eintauchen zweier Metallplatten in ein Wasserbehälter von Glas oder Porzellan und taucht man die Hände oder auch nur eine Hand in das Wasser zwischen beiden Platten, so empfindet man an allen benetzten Stellen die Wirkung der eindringenden Electricität.

Um die Stärke der Nervenerregung ganz in der Gewalt zu haben, gebraucht man eine besondere Vorrichtung, den Moderator, eine Glasröhre, oben und unten verkorkt und mit Wasser gefüllt. Durch den oberen Kork geht ein verschiebbarer dicker Draht *e f*, an dessen unterem Ende eine Platinscheibchen angelöthet ist. Auf dem unteren Kork sitzt ebenfalls ein Platinscheibchen mit angelöthetem Drahte, der durch den Kork geht und zu dem Bügel *u* führt. Wenn nun der früher in dem Bügel *u* befestigte Nebendraht *r* jetzt an dem verschiebbaren Drahte bei *f* eingeklemmt wird, so kann man durch Herausziehen oder Hinabdrücken des letzteren den durch die Nebenschliessung laufenden Strom nach Gefallen reguliren.

Neeff hat an seinem Magnetelectromotor die merkwürdige Beobachtung gemacht, dass das zwischen Platinspitze und Blättchen überspringende Licht stets auf der Seite des negativen Pols erscheint, in der Weise, dass, wenn der electrische Strom in der Richtung vom Blättchen zur Spitze geht, nur die letztere vom Lichte umhüllt erscheint, während sich dasselbe bei umgekehrter Stromesrichtung rings um die Spitze auf der Ebne des Blättchens ausbreitet, die Spitze selbst aber dunkel bleibt. Diese Erscheinung, wenn auch nur mit bewaffnetem Auge, und auch dann nur beim Uebergange schwacher und mässig starker Electricitäten ganz deutlich sichtbar, ist doch so auffallend, dass sie mit Hülfe einer guten Loupe Niemanden entgehen kann. Sehr starke Ströme bringen die Platinspitze zum Glühen, wodurch ein nur von der Wärmeentwicklung abhängiger Effect mit dem des rein electrischen Lichtes vermengt wird. Neeff hält für wahrscheinlich, dass, so wie das Licht am negativen, die Wärmeentwicklung vorzugsweise am positiven Pole auftritt, und sucht diese Ansicht durch verschiedene Betrachtungen zu begründen, über welche man das Nähere findet in Pogg. Ann. B. 66. S. 414. Entscheidende Versuche darüber liegen bis jetzt nicht vor.

465. Die electrodynamischen Vertheilungsphänomene lassen sich weder aus dem Ampère'schen Gesetze noch aus den electrostatischen Fundamentalgesetzen vorhersehen, dergestalt, dass die Electricitätslehre jetzt drei Hauptclassen von Erscheinungen darbietet, deren innerer Zusammenhang bisher nicht nachgewiesen war. Diese Lücke ist nun vor Kurzem von W. Weber ausgefüllt worden.

Nach der jetzt allgemein angenommenen Vorstellungsweise, befinden sich in einem jeden Stromelemente gleiche Mengen positiver und negativer Electricität, welche sich in entgegengesetztem Sinne bewegen und dadurch jene unaufhörliche Störung und Wiederherstellung des electrischen Gleichgewichtes herbeiführen, die wir den electrischen Strom nennen. In zweien Stromelementen, die man insbesondere ins Auge fasst, hat man also vier Wech-

selwirkungen electrischer Massen in Betrachtung zu ziehen, zwei abstossende, zwischen den beiden positiven und zwischen den beiden negativen Massen in den Stromelementen, und zwei anziehende, zwischen der positiven Masse in dem ersten und der negativen Masse in dem zweiten, und zwischen der negativen Masse in dem ersten und der positiven in dem zweiten.

Die Resultante dieser Wirkungen würde nach den bekannten electrostatischen Gesetzen Null seyn müssen, weil die gleichartigen, sich abstossenden Massen, den ungleichartigen, sich anziehenden gleich sind und aus gleicher Entfernung auf einander wirken. Weber hat aber gezeigt, dass, wenn diese Resultante nicht blos für den Fall der gegenseitigen Ruhe, sondern allgemein für jede Bewegung beider electrischer Massen gegen einander richtig bestimmt werden soll, zu demjenigen Werthe, welchen die electrostatischen Gesetze für die Kraft geben, welche zwei electrische Massen auf einander ausüben, noch eine von ihrer gegenseitigen Bewegung abhängige Ergänzung hinzukommen muss. Um diese Ergänzung ausfindig zu machen, stützte er sich auf die folgenden, einfachen Sätze:

1) Electrische Massen, welche in entgegengesetztem Sinne bewegt werden, wirken schwächer auf einander, als diejenigen, welche in gleichem Sinne bewegt werden.

2) Zwei electrische Massen wirken desto schwächer (abstossend oder anziehend, je nachdem sie gleichartig oder ungleichartig sind) auf einander, je grösser das Quadrat ihrer relativen Geschwindigkeit ist.

Der erste dieser Sätze geht unmittelbar aus der Thatsache hervor: dass zwei Stromelemente, die in einer geraden Linie liegen, mit welcher ihre Richtung zusammenfällt, einander abstossen oder anziehen, je nachdem die Bewegung in gleichem oder entgegengesetztem Sinne stattfindet. Die relative Geschwindigkeit, oder der Unterschied der absoluten Geschwindigkeit zweier Massen ist positiv oder negativ, je nachdem dadurch eine gegenseitige Entfernung oder Annäherung bewirkt wird. Diese Verschiedenheit des Vorzeichens äussert aber keinen Einfluss auf die Grösse der wechselseitigen Einwirkung. Die Grösse der Kraft muss daher von einer geraden Potenz, also zunächst vom Quadrate der relativen Geschwindigkeit abhängig seyn.

Ausgehend von diesen Gesetzen gelangte Weber zu einem mathematischen Ausdrucke, aus welchem sich die Fundamentalgesetze der Electrostatik und Electrodynamik mit gleicher Schärfe ableiten lassen, während mit derselben inneren Nothwendigkeit ein allgemeines Gesetz der Inductionserscheinungen daraus hervorgeht.

Die Gränzen eines Leitfadens der Experimentalphysik verbieten, auf diese wichtigen analytischen Untersuchungen, durch welche das wissenschaftliche Gebäude der Electricitätslehre gleich-

sam erst seinen Schlussstein erhalten hat, hier einzugehen. Wir müssen uns desshalb darauf beschränken, die physikalischen Principien derselben hervorgehoben zu haben, während wir hinsichtlich der daraus gezogenen Folgerungen auf die Arbeit selbst verweisen, welche in den Abhandl. bei Begründung der Königl. Sächs. Ges. d. Wiss. etc. S. 305, niedergelegt ist.

Von der thierischen Electricität.

466. Eine höchst merkwürdige Quelle electrischer Thätigkeit hat man in dem Organismus mehrerer Fische entdeckt. Mit Sicherheit sind bis jetzt drei Gattungen electrischer Fische bekannt:

Der Zitterrochen (raja torpedo), von welchem zwei Spielarten, der gefleckte und der marmorirte in den den europäischen Süden begränzenden Meeren ziemlich häufig vorkommen und schon den Alten bekannt waren. Der electrische Ursprung ihrer eigenthümlichen Kraft ist aber erst im letzten Drittel des vorigen Jahrhunderts von Walsh nachgewiesen worden. Eine dritte Art ist der brasilianische Zitterrochen (narcine brasiliensis).

Der Zitteraal oder Surinam'scheAal (gymnonotus electricus) wird in Guiana und hauptsächlich in den kleinen Zuflüssen des Orinoco angetroffen.

Der Zitterwels (malapterurus oder silurus electricus) lebt in dem oberen Theile des Nils.

Von diesen Fischen ist bis jetzt nur der Zitterrochen und Zitteraal genau untersucht worden. Beide besitzen besondere electrische Organe, bei welchen gewisse allgemeinere und übereinstimmende Structurbedingungen auftreten, die wesentlich die Bestimmung electromotorischer Apparate zu haben scheinen. Sie bestehen aus über einander liegenden, unregelmässigen Prismen oder Säulen von 1—1,5 Linien Dicke und sehr ungleichen Längen, die durch Scheidewände von einander getrennt sind. Jede einzelne Säule ist aus übereinander geschichteten Blättchen zusammengesetzt, zwischen welchen eine gallertartige Flüssigkeit, gleichsam wie in den Zellen eines galvanischen Apparates eingeschlossen ist. Die trennenden feinen Häute oder Blättchen zeigen, unter dem Mikroskope betrachtet, auf ihren beiden Oberflächen zellige Ueberzüge, innerhalb welcher sich Verzweigungen der Blutgefässe so wie der Nervenfasern parallel mit den Oberflächen, also winkelrecht gegen die Längenrichtung der Säulen verlaufen, und zwar beide in verschiedenen Ebnen übereinander, nämlich die einen (die Blutgefässe) näher der oberen, die andern (die Nervenfasern) näher der unteren Fläche der Blättchen, dergestalt, dass die gallertartige Flüssigkeit auf der einen Seite einer jeden Zelle zunächst mit Blutgefässen, auf der anderen Seite mit Nervensubstanz in Berührung kommt.

Die Torpedo besitzt zwei solcher Organe, die auf beiden Seiten des Rückgrates, in der vorderen Hälfte des Körpers, unmittelbar unter der Haut liegen. Die einzelnen Säulchen sind vom Rücken abwärts gegen den Bauch gerichtet, und die in denselben verlaufenden Nervenverzweigungen sammeln sich zu vier dicken nach dem Gehirn führenden Strängen.

Der Gymnotus hat vier electrische Organe. Alle ziehen sich bandartig vom vorderen Theile des Körpers bis zum Ende des Schwanzes hin und erhalten ihre Nervenverzweigungen durch mehrere hundert von dem Rückenmarke auslaufende Fäden. Die einzelnen Säulen oder Zellensysteme verfolgen dieselbe Längenrichtung und haben demnach bei dem Gymnonotus eine ungleich beträchtlichere Länge als bei der Torpedo. Zwei von den vier Organen liegen auf beiden Seiten der Wirbelsäule, das andere Paar von geringerer Mächtigkeit darunter.

Der electrische Apparat scheint diesen Thieren von der Natur als Waffe verliehen, sey es zur Vertheidigung, sey es um kleinere Fische, deren sie zu ihrer Nahrung bedürfen, durch den electrischen Schlag zu betäuben oder selbst zu tödten. Sie können sich nach Willkühr, aber nicht, wie man früher geglaubt hat, nach jeder Richtung entladen. Der frisch gefangene, noch ganz kräftige electrische Fisch vermag viele Schläge rasch hinter einander, 60—70 in einer Minute zu ertheilen. Eine so häufige Wiederholung entkräftet ihn aber, so dass er endlich unfähig wird, bevor er ausgeruht und sich genährt hat, neue Schläge zu geben. Wenn die Entladungen aufgehört haben, ist es unmöglich im Innern des Organs die geringste Spur von Electricität zu entdecken.

Die electrische Entladung eines Zitterrochens, der noch seine volle Lebenskraft besitzt, kann nach dem Willen des Thieres erfolgen, so wie dasselbe an irgend zweien Puncten gleichzeitig leitend berührt wird. Die stärksten Schläge erhält man aber durch gleichzeitige Berührung des Rückens und Bauches. Die Wirkung pflanzt sich auch auf geringe Entfernungen hin durch das Wasser fort; durch Nichtleiter dagegen, z. B. durch die allerdünnste Luftschicht wird dieselbe vollständig unterbrochen. Berührt man Bauch und Rücken mit Silberplatten, die an isolirten Handhaben gehalten und mit den Enden eines langen Multiplicatordrahtes verbunden werden; reizt man dann das Thier, indem man z. B. die eine Platte auf seinem Körper reibt, und veranlasst man dadurch eine Entladung, so zeigt sich, so oft diese erfolgt, eine Ablenkung der Magnetnadel. Dabei geht der Strom immer positiv vom Rücken durch den Draht zum Bauch über, so dass also die Rückenseite den positiven Pol, die Bauchseite den negativen Pol einer jeden der kleinen Säulen bildet. Mittelst des Entladungsstroms der Torpedo zersetzte John Davy Wasser, Blei- und Silberlösung, zwar nur in geringer Menge, aber doch deutlich sichtbar. (Pogg. Ann.

27. 542.) Werden die Silberplatten mit einem langen Schraubendrahte verbunden, in dessen Höhlung ein Eisenkern geschoben ist, bringt man dann an irgend einer Stelle der Drahtleitung eine Unterbrechung an, amalgamirt die Drahtenden an der Unterbrechungsstelle und reibt sie an einander, während der Fisch gereizt wird, so bemerkt man bei jeder Entladung einen Funken (Linari; Matteucci).

Die electrische Thätigkeit des Zitterrochens hört nicht auf, wenn die sein electrisches Organ bedeckende Haut entfernt oder wenn Schichten von der Substanz des Organs selbst abgeschnitten werden. Auch die Richtung des Stroms wird dadurch nicht geändert, wohl aber seine Intensität geschwächt. Ungeachtet der Rücken constant als die positive Seite und der Bauch als die negative Seite des electrischen Apparates erscheint, so können sich doch auch irgend zwei Puncte der Rückenseite oder der Bauchseite, vergleichungsweise entgegengesetzt electrisch verhalten. Diess wird aus dem Umstande begreiflich, dass die einzelnen Säulchen, welche das Organ bilden, an verschiedenen Stellen aus einer ungleichen Zahl Zellen zusammengesetzt sind. — Wenn man das Gehirn des Zitterrochens entblösst und den letzten Flügel desselben, den sogenannten electrischen Gehirnlappen, welcher hauptsächlich dem Organe die Nerven gibt, sanft berührt, so erfolgen sehr starke Entladungen. Berührt oder verletzt man eine der zu dem electrischen Apparate führenden Nervenstränge, so ist die Entladung nur local. Werden die Nerven des einen Organs durchschnitten, so ist das Thier unfähig, auf dieser Seite sich zu entladen, während es mit der unverletzten Seite noch Schläge ertheilen kann. Werden alle vom Gehirn zu dem electrischen Organe führenden Nerven durchschnitten, so verliert das Thier gänzlich sein Vermögen, electrische Wirkungen nach Willkühr hervorzubringen. Berührung oder Verletzung des Gehirns bleibt ohne Effect. Dagegen Verletzung eines Nervenstrangs veranlasst in dem damit in Verbindung stehenden Theile des Organs, aber auch nur in diesem, eine deutliche, wenn auch schwache electrische Entladung. Am sichersten lässt sich diess erkennen, wenn man mehrere Froschschenkel mit blossgelegten Nerven an verschiedenen Stellen des Organs vertheilt. Nur der auf der gereizten Stelle liegende Schenkel (vorausgesetzt, dass zwei Puncte seines Nervs mit dem electrischen Organe in Berührung standen, und dadurch eine geschlossene Kette bildeten) wird in Zuckungen gerathen. (Traité des phénomènes Electro-Physiol. par C. Matteucci, auch Pogg. Ann. 39. 485.)

Die electrische Kraft des Zitteraals ist weit grösser, als die des Zitterrochens. Die ersten Schläge eines noch ungeschwächten, gereizten Gymnotus gleichen denen einer grossen Leydner Flasche und bewirken so heftige Erschütterungen, dass selbst grössere

Thiere, wie Pferde, dadurch betäubt werden können (Humboldt). Gleichwohl geht der Entladung keine merkliche electrische Spannung vorher, und durch jeden schlechten Leiter wird sie unterbrochen. Dem Thiere aufgelegte Metallscheiben mit Drahtverlängerungen führen den Schlag nur dann zu dem Körper, wenn die metallischen Handhaben mit befeuchteten Händen gefasst werden. Ueberspringen eines Funkens durch die Luft ist nicht bemerkbar. Wenn aber der durch Induction zweiter Ordnung (nämlich mittelst einer Drahtrolle) verstärkte Entladungsstrom durch einen Eisendraht geht, der gegen die gefurchte Fläche eines rotirenden Stahlcylinders gedrückt wird, so gelingt es leicht, Funken zu erhalten. Aus der chemisch zersetzenden Kraft des Stroms und aus seiner Wirkung auf die Magnetnadel erkennt man, dass er vom Vordertheile des Körpers durch den Draht zum Hintertheile geht. Durch geeignete Verrückungen der auf das Thier gelegten Metallscheiben, mit deren Hülfe der Strom zu dem Multiplicatordrahte geleitet wird, ergibt sich, dass jeder Theil des electrischen Organs gegen alle vorderen Theile negativ, gegen die hinteren positiv ist.

Die Schläge des Gymnotus sind am kräftigsten, wenn die eine Hand auf den Körper nahe am Kopfe des Thiers, die andere am Ende des Schwanzes aufgelegt wird. Je mehr man von diesen Gränzen aus die Hände einander nähert, um so schwächer zeigt sich die Wirkung. Der Schlag wirkt auf beträchtliche Entfernung hin durch das Wasser, wenn der Körper des Fisches gerade ausgestreckt liegt und die Hände mit demselben gleichlaufend, die eine näher dem Kopfe, die andere näher dem Schwanze eingetaucht werden. Werden sie dagegen, die Längenrichtung des Thiers rechtwinklig durchkreuzend eingetaucht, so spürt man fast nichts; in jeder andern Lage eine mehr oder weniger starke Einwirkung. Hieraus geht deutlich hervor, dass im Augenblicke der Entladung die Electricität sich nicht bloss von den Endpuncten, sondern von allen Stellen des Organs in das Wasser ergiesst und folglich in der ganzen Umgebung des Thiers, von jedem besseren Leiter theilweise aufgenommen werden muss. Der Zitteraal scheint sich seiner eigenthümlichen Kraft, so wie auch der Stelle, wo sich dieselbe am stärksten äussert, genau bewusst zu seyn, denn man hat bemerkt, dass er, um kleine Fische durch den Schlag zu tödten, rasch seinen Körper in Gestalt eines Rings um seine Beute zu biegen sucht. (Faraday in Pogg. Ann. Ergänzungsb. I. 385.)

467. So gross die Aehnlichkeit ist zwischen dem electrischen Apparate dieser Fische und einer galvanischen Säule, die aus sehr vielen Elementen zusammengesetzt ist und grosse Widerstände zu überwinden hat, so lässt sich doch die Vergleichung hauptsächlich aus dem Grunde nicht durchführen, weil der Schlag eines electrischen Fisches nicht unbedingt bei geeigneter Berührung desselben stattfindet, sondern von dem Willen des Thieres ab-

hängt. Der augenscheinliche Einfluss, welchen Gehirn und Nerven auf die Ladung des electrischen Organs ausüben, die gänzliche Abwesenheit von Electricität in diesem Organe sobald als jene unthätig bleiben, lässt kaum mehr bezweifeln, dass man die wahre Ursache der Schläge in einer eigenthümlichen Nerventhätigkeit zu suchen habe, während das electrische Organ nur einen Verstärkungsapparat bildet, vielleicht ähnlich der Poggendorff'schen Ladungssäule (387), und bestimmt die electromotorische Kraft eines Stromes zu erhöhen, der aus einer mittelbar oder unmittelbar in den Nerven liegenden Electricitätsquelle von verhältnissmässig sehr niederer Spannung zugeführt wird. Hierdurch wird die Frage über das Wesen der thierischen Electricität in gewisser Hinsicht wieder auf den Standpunct zurückgewiesen, zu welchem bereits Galvani gelangt war.

Galvani glaubte bekanntlich aus seinen Beobachtungen die Folgerung ziehen zu müssen, dass das Gehirn der Thiere die Quelle einer eigenthümlichen Electricität sey, welche durch Vermittlung der Nerven in allen übrigen Theilen des Körpers verbreitet werden könne. Die Muskeln betrachtete er als Behältnisse, worin sich jenes Fluidum, die Nervenelectricität, ähnlich wie die Electricität der Maschine in einer Leydner Flasche, ansammeln könne. Im Verlaufe des so berühmt gewordenen wissenschaftlichen Streites mit Volta, zu dem diese Vorstellungen führten, erwartete Galvani einen schlagenden Beweis für seine Ansicht und gegen die Richtigkeit der Contacttheorie gewinnen zu können, wenn es ihm gelänge, in dem präparirten Froschschenkel einen electrischen Strom unabhängig von jedem metallischen Einflusse nachzuweisen. Es glückte ihm durch Zurückbiegen des Fusses gegen die aus dem Schenkel hervortretenden Nerven. So wie nämlich auf diese Weise der Froschschenkel zu einer in sich selbst zurückkehrenden Kette geschlossen wurde, zeigten sich Zuckungen. Seinen eigentlichen Zweck vermochte Galvani gleichwohl nicht zu erreichen, indem sein Gegner überzeugende Beweise beibrachte, dass in dem geschlossenen Schenkel die wesentlichen Bedingungen einer Volta'schen Kette, welche die Gegenwart metallischer Leiter keineswegs als unumgänglich erfordert, vereinigt waren.

Der Strom des Froschschenkels ist späterhin von Nobili galvanometrisch untersucht worden. Er fand, dass die positive Electricität sich in der Richtung von dem Fusse nach dem Kopfe des Thieres, oder vielleicht bezeichnender, von der Aussenfläche der Muskeln durch das Innere des Schenkels zu den Nerven bewegt. Aehnliche electrische Strömungen durch Berührung von Nerv und Muskeln hat man bei anderen Thieren bis jetzt nicht beobachtet. Dagegen hat man gefunden, dass in dem Körper aller lebenden Thiere, warmblütiger wie kaltblütiger, bei vielen sogar noch einige

Zeit nach dem Tode, Electricität erregt werden kann, wenn man den äusseren mit dem inneren Theile eines Muskels unter Umständen in Verbindung setzt, wobei irgend fremde Einflüsse in keiner Weise sich geltend machen können. Wird z. B. in dem Muskel irgend eines Thieres (eines Frosches, eines Kaninchens, einer Taube) ein Einschnitt gemacht, dann der Rand der Wunde mit einem Puncte, das Innere derselben mit einem andern Puncte des blossgelegten Nervs eines präparirten Froschschenkels in Berührung gebracht, so geräth derselbe in Zuckungen. Dieser Muskelstrom lässt sich mit dem Galvanometer gleichfalls nachweisen; man findet, dass er vom Inneren, d. h. von der blutenden Stelle, durch die Muskelmasse zu der Aussenfläche seinen Lauf nimmt. Matteucci ist es gelungen, eine Art electrischer Säule aus Blut und Muskeln zusammenzusetzen, indem er mehrere präparirte Froschschenkel in Stücke zerschnitt und diese auf einer Glasscheibe so an einander reihete, dass immer die Schnittfläche eines Stückes mit der Aussenfläche des nächstfolgenden in Berührung kam. Aehnliche Versuche mit Muskel - Abschnitten verschiedener anderer Thiere gelangen eben so gut.

Durch alle diese Beobachtungen über das Auftreten electrischer Erscheinungen im Blute, in den Muskeln und Nerven; Beobachtungen, welche man in der neuesten Zeit durch sehr zahlreiche und oft sehr grausame Experimente zu vervollständigen und zu erweitern sich befleissigt hat, so werthvoll dieselben in physiologischer Beziehung vielleicht seyn mögen, ist die Physik und unsere Einsicht in die Natur der thierischen Electricität bis jetzt nur unwesentlich gefördert worden.

Seitdem Volta gezeigt hat, dass die Bedingungen zur Entstehung eines electrischen Stroms gegeben sind, so oft drei verschiedenartige, die Electricität leitende Körper, von welchen wenigstens einer chemisch zerlegbar und am besten eine Flüssigkeit ist, in Berührung kommen, kann es in der That nicht mehr auffallen, dass in gewissen Fällen auch im thierischen Körper oder in Theilen desselben electrische Ströme auftreten. Vielmehr würde das Gegentheil befremden müssen.

Man weiss z. B., dass die Flüssigkeit in den Adern (das Blut) gewöhnlich alkalisch, dass dagegen die Flüssigkeit ausserhalb der Blutkanäle stark sauer reagirt. Wenn also an der Berührungsfläche von Adern und Muskeln und unter der Bedingung einer geschlossenen Leitung ein Strom in der Richtung vom Blut zum Muskel entsteht, so ist diess eigentlich nichts Anderes, als was man, nach dem bekannten electrischen Verhalten der Alkalien und Säuren gegen einander, im Voraus erwarten musste. Mit gleichem Rechte kann man erwarten, dass an der Berührungsstelle des Bluts mit der neutralen oder sehr schwach sauren Substanz der Nerven, das Streben zur Bildung eines Stroms vom Blute zu den Nerven,

und da, wo sich Nerv und Muskel berühren, vom ersteren zu dem letzteren vorhanden ist. Dem Lebensprozesse kann man bei dieser Classe von Erscheinungen, so weit sie bis jetzt studirt sind, mit Grund keinen anderen Einfluss beimessen, als den in physikalischer Beziehung nur untergeordneten, die verschiedenen, die electrische Kette bildenden Stoffe im Anfangszustande zu erhalten oder vielmehr diesen Zustand, sowie er sich ändert, immer wieder zu erneuern.

Einen neuen höchst wichtigen Beitrag zur Lehre von der thierischen Electricität verdankt man Du Bois-Reymond durch die Entdeckung, dass der vom Inneren zur Aussenfläche (oder, wie Du Bois-Reymond bestimmter sich ausdrückt, vom Querschnitt zum Längenschnitt) des Froschmuskels oder eines Nervs, und sofort durch den Galvanometerdraht cirkulirende, allmählig fast beständig gewordene Strom, plötzlich vermindert und sogar zum Erlöschen gebracht werden kann, wenn man den Strom erzeugenden Muskel oder Nerv durch electrische Reizung, oder auch auf andere Weise in den Starrkrampf versetzt. Du Bois-Reymond wurde durch diese Thatsache auf den Gedanken geleitet, dass der im thierischen Organismus bestehende electrische Gleichgewichtszustand allein schon durch einseitige Anspannung gewisser Muskeln, während andere unthätig bleiben, gestört werden müsse. Wirklich gelang es ihm diese Folgerung durch den Versuch zu rechtfertigen. Er verband die Enden eines sehr langen Multiplicatordrahts mit Platinstreifen von durchaus gleichartiger Beschaffenheit und tauchte dieselben in zwei, concentrirte Kochsalzlösung enthaltende Gefässe. Als er dann einen gleichnamigen Finger jeder Hand in eines dieser Gefässe eintauchte, und sobald die Nadel ruhig war, die eine Hand, Arm und Seite des Körpers möglichst nachhaltig anstrengte, entstand ein Strom in der Richtung von der angespannten Hand zur Schulter. Durch ähnliches Anziehen der anderen Hand, während nunmehr die erstere unthätig blieb, wich die Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus. Die Grösse des Ausschlags hängt von der Empfindlichkeit des Instrumentes und von der Stärke der Muskelanstrengung ab.

Dieser merkwürdige Versuch ist seitdem vielfältig wiederholt und bestätigt worden. Auch hat man gefunden, dass die Wirkung verstärkt werden kann, wenn er von mehreren Personen zugleich ausgeführt wird, die sich mit befeuchteten (zuvor durch Waschen mit Seife sorgfältig gereinigten) Händen zu einer Kette verbinden, deren beide Endglieder, je durch Eintauchen eines Fingers in die Gefässe mit Salzwasser, den Einschluss des Galvanometerdrahts bewerkstelligen. Alle spannen dann gleichzeitig eine gleichnamige Hand, z. B. die rechte.

468. Auch in dem Fortgange des Pflanzenlebens will man Spuren electrischer Erregungen bemerkt haben. Pouillet liess in

isolirten Gefässen, welche mit der oberen Platte eines Condensators leitend verbunden waren, dessen untere Platte zu dem Boden führte, verschiedene Pflanzen aufkeimen und wachsen. Sobald die Keime die Erde der Gefässe durchbrachen und ihre Spitze erhoben, sammelte sich die negative Electricität in der oberen Condensatorplatte, und diese Erscheinung dauerte fort bei Tag und bei Nacht, so lange die umgebende Luft hinlänglich trocken blieb. Pouillet glaubt diese Electricitäts-Entwicklung der chemischen Einwirkung der wachsenden Pflanzen auf die Luft zuschreiben zu müssen und verknüpft sie mit den bei vielen andern chemischen Vorgängen (namentlich dem Verbrennungsprozesse und der Verdampfung wässeriger Lösungen) von andern Physikern sowohl wie von ihm selbst beobachteten electrischen Ausscheidungen (337), wobei gewöhnlich positive Electricität in die Luft entweichen, negative von der Erde aufgenommen werden soll. (Pogg. Ann. 11. 417 und 442.)

Alle diese Erfahrungen und besonders die daraus gezogenen Folgerungen bedürfen indessen noch sehr der Bestätigung. Die Electricitätserregung durch den Vegetationsprozess konnte Riess (P. A. 69. 288), der Pouillet's Versuche wiederholte, nicht erkennen. — Dass während der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Körper in gewissen Fällen eine Störung des electrischen Gleichgewichts stattfindet, ist allerdings richtig, allein diese Erscheinung steht in keiner unmittelbaren und wesentlichen Beziehung zum chemischen Vorgange, sondern beruht, wie neuerdings aufs bestimmteste nachgewiesen ist, auf thermoelectrischen Erregungen. (Annal. Chem. und Pharm. LXXX. 1.)

Was insbesondere die electrischen Erscheinungen betrifft, welche bei den durch Verdampfung bewirkten chemischen Zersetzungen auftreten, so hat Reich (Abhandl. bei Begründung der sächsischen Ges. d. Wiss. S. 199) in hohem Grade wahrscheinlich gemacht, dass dieselben ausschliesslich nur bei tumultuarischer Verdampfung entstehen und dass sie in diesem Falle stets von einer Reibung zerstäubter Wassertheilchen an den Wänden der Gefässe abstammen. Bei der langsamen Verdampfung hat man bei Anwendung weder von reinem Wasser noch von wässrigen Lösungen eine electrische Erregung mit Sicherheit nachzuweisen vermocht.

Ueber den magnetischen Zustand aller Körper.

469. Faraday, dessen Forschungsgeiste die Lehre der Electricität und des Magnetismus schon so zahlreiche und so höchst wichtige Beiträge verdankt, hat im Jahre 1845 eine neue magnetische Eigenschaft der Materie entdeckt, die seitdem sowohl von ihm selbst, wie von andern Physikern aufs eifrigste näher er-

forscht worden ist. Er fand, dass die Pole eines sehr starken Electromagneten fast auf jeden Körper, der in ihrer Nähe an einem ungedrehten Seidenfaden aufgehängt wurde, einen mehr oder weniger auffallenden Einfluss ausübten. Diese Einwirkung zeigt sich aber bei den verschiedenen Körpern nicht nur in der Stärke, sondern auch der Art nach verschieden. In letzterer Beziehung theilt Faraday die Körper in zwei Klassen, welche er durch die Bezeichnungen: magnetische und diamagnetische Stoffe unterscheidet.

Alle materiellen Theile eines magnetischen Körpers werden von dem Pole des Electromagnets, welchem sie zunächst stehen, gleichgültig ob es der positive oder ob es der negative sey, angezogen, und zwar geht die Resultante dieser Anziehungen bei Körpern von geringem Umfange und regelmässiger Gestalt (so dass alle materiellen Theile beiläufig gleichweit von dem Pole entfernt liegen) durch den Schwerpunct ihrer Masse.

Alle materiellen Theile eines diamagnetischen Körpers werden von beiden Polen des Electromagnets abgestossen, und auch diese Abstossung ist, bei beiläufig gleichem Abstande der abgestossenen Theilchen von dem abstossenden Pole, gegen den Schwerpunct der Masse gerichtet.

Zu der ersten Klasse gehören, ausser den schon als magnetisch bekannten Stoffen, Eisen, Nickel und Kobalt, noch ferner Mangan, Chrom, Cerium, Titan, Palladium, Platin, Osmium, Aluminium, Sauerstoff, sowie eine grosse Anzahl der Verbindungen dieser Körper, die meisten derselben sogar im aufgelösten Zustande.

Zu der zweiten Klasse gehören die meisten übrigen Körper, einfache wie zusammengesetzte, Leiter wie Nichtleiter der Electricität; unter den einfachen Stoffen: Wismuth, Antimon, Zink, Zinn, Kadmium, Natrium, Quecksilber, Blei, Silber, Kupfer, Gold, Arsenik, Uran, Rhodium, Iridium, Wolfram, Phosphor, Stickstoff, Chlor, Jod, Schwefel, Wasserstoff. Besonders stark diamagnetisch fand Faraday das Wismuth, Antimon, Zinn, den Phosphor, das Flintglas und überhaupt schweres und eisenfreies Glas. In weit geringerem Grade zeigten diese Eigenschaft Harz, Wachs, Holz, Olivenöl, Terpentinöl, Wasser, Aether, Alkohol.

Diamagnetische mit magnetischen Körpern verbunden stören wechselseitig ihr eigenthümliches Verhalten, so dass je nach den Mischungsverhältnissen bald die magnetische, bald die diamagnetische Eigenschaft vorherrscht, bald beide verschwinden. So sind Lösungen eines Eisen- oder Mangansalzes in Wasser bei gewisser Verdünnung neutral, bei stärkerer Verdünnung diamagnetisch, während concentrirtere Lösungen derselben Salze sich entschieden magnetisch verhalten. Das grüne Bouteillen-Glas und auch das Crown-Glas sind wegen ihres Eisengehaltes magnetisch, ungeachtet die reine Glasmasse schwach diamagnetisch ist. Ueberhaupt

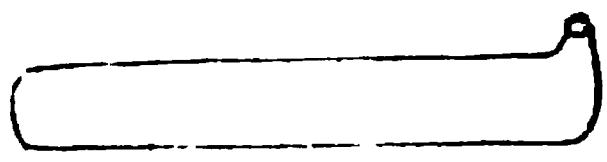
herrscht die gewöhnliche Magnetkraft fast in allen Verbindungen der magnetischen Metalle mit nicht magnetischen Körpern vor. Dagegen erhielt Faraday in keiner Verbindung diamagnetischer Metalle unter einander oder mit nicht metallischen Stoffen auch nur die geringste Anzeige der gewöhnlichen Magnetkraft.

Durch Temperaturerhöhung wird bekanntlich die Fähigkeit des Eisens, Nickels und Kobalts vom Magnete angezogen zu werden, vermindert. Faraday fand jedoch keinen Körper, der bei entschieden magnetischer Beschaffenheit, durch Temperaturerhöhung diese Eigenschaft ganz und gar verlor; eben so wenig konnte irgend ein diamagnetischer durch Erniedrigung der Temperatur magnetisch gemacht werden.

Wurde ein kleiner Würfel von Wismuth oder Flintglas zwischen beiden Polen eines hufeisenförmigen Electromagnets und zwar genau in der Mitte der geraden Verbindungslinie beider Pole aufgehängt, so zeigte sich weder beim Schliessen noch beim Oeffnen der electrischen Kette irgend eine Einwirkung. Näherte man ihn aber mehr dem einen oder andern Pole, so zeigte sich die Abstossung von dieser Seite her in demselben Augenblicke, da die Kette geschlossen wurde. Sie hielt an, so lange als der Magnet in Thätigkeit blieb. Befand sich der aufgehängte Körper etwas rechts, oder links von der Verbindungslinie, so wurde er durch die gleichzeitig von beiden Polen ausgehende Abstossung in derselben Richtung noch weiter entfernt. Hing man zwei Würfel pendelartig neben einander, den einen rechts, den andern links von der Verbindungslinie, so entfernten sich beide von einander, so wie man die Kette schloss, ganz so als ob sie sich wechselseitig abgestossen hätten. Stellte man beide Würfel genau in die Verbindungslinie der Pole, den einen näher dem positiven, den andern näher dem negativen Pole, so hatte es ganz den Anschein, als ob sie sich wechselseitig anzögen. Die folgenden Erscheinungen erklären sich leicht aus den soeben betrachteten. Wenn ein Körper, bei dem die Längendimension vorherrscht, in der Mitte zwischen beiden Polen des Electromagnets so aufgehängt wird, dass der Faden die Verbindungslinie der Pole durchschneidet, so wird er sich, je nachdem er der Klasse der magnetischen oder derjenigen der diamagnetischen Stoffe angehört, längs der Verbindungslinie zu richten, oder eine Stellung winkelrecht gegen diese Richtung anzunehmen streben. Welches Ende des Körpers sich nach der einen oder andern Seite kehren werde, hängt nur von dem zufälligen Umstande seiner anfänglichen Stellung ab. Dieses Verhalten ist das Resultat des Bestrebens der dem Einflusse der Magnetpole unterworfenen Theilchen, sich in die Lage zu begeben, in welcher ihr Drehungsmoment Null wird. Es ist hinsichtlich der magnetischen Körper ganz analog dem eines Stabes von weichem Eisen, der zwischen beiden Polen aufgehängt wird. Nur der Grad

der Stärke womit ein Stab oder ein längliches Stück aus irgend einer andern magnetischen Materie Richtung nimmt, macht einen Unterschied. Es werde z. B. ein Rohr aus dünnem Glase und wie Fig. 210 gestaltet mit einer Auflösung von schwefelsaurem Eisen oder schwefelsaurem Mangan gefüllt und mittelst eines Papierbügels auf die beschriebene Weise aufgehängt. Gesetzt die Längenrichtung des Rohrs bilde anfangs mit der Verbindungslinie der Pole irgend einen spitzen Winkel. Man schliesse die Kette, sogleich wird sich das Rohr in Bewegung setzen und nach einigen Schwingungen sich in die Verbindungslinie stellen. Entfernt man es aus dieser Stellung, so kehrt es wieder in dieselbe zurück. — Bringt man statt einer der genannten Lösungen reines Wasser oder eine Auflösung von Kupfer oder Silber oder irgend eines andern diamagnetischen Metalls in das Rohr, so stellt es sich winkelrecht gegen die Verbindungslinie. Eben so würde sich ein Stäbchen von Wismuth oder Antimon oder Flintglas u. s. w. das man in den Papierbügel schiebt, verhalten.

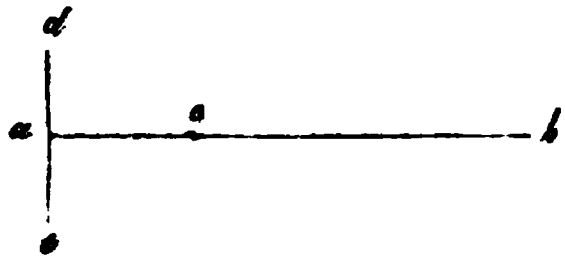
Fig. 210.



Lässt man einen Körper von geringer magnetischer Kraft in einem Mittel schwingen das stärker magnetisch ist, z. B. einen kleinen Stab von Platin oder eisenhaltigem Glas, oder auch eine verdünnte Lösung von Eisenvitriol in einer sehr viel concentrirteren derselben Verbindung, so richtet sich der schwächer magnetische Körper winkelrecht gegen die Magnetaxe oder äquatorial, wie wenn er diamagnetisch wäre; er wird nämlich aus der Stellung parallel mit der Axe, der axialen Stellung verdrängt, weil das Uebergewicht der magnetischen Wirksamkeit gegen seine Umgebung gerichtet ist. Da nun auch die Gase dem magnetischen Einflusse gehorchen, so lässt sich die wahre magnetische Natur eines Körpers mit Sicherheit nur im leeren Raume erkennen.

Um das Verhalten eines gasförmigen Körpers zu beobachten, kann man Seifenblasen damit bilden. Man wird dann finden, dass eine mit Sauerstoff gefüllte Blase angezogen, eine mit Wasserstoff, Stickstoff, Kohlensäure oder irgend einem anderen Gase, ausser Sauerstoff und Luft gefüllte abgestossen wird, während eine Luftblase sich ganz neutral verhält. In einer Atmosphäre von Wasserstoff würde aber auch die Luftblase, wegen ihres Sauerstoffgehaltes angezogen werden.

Fig. 211.



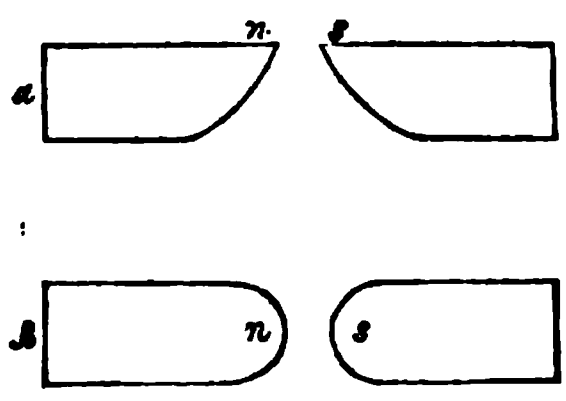
Auf dem folgenden von Faraday eingeschlagenen Wege lässt sich das Verhalten der Gase unabhängig von der sie umschliessenden Hülle vergleichen. Ein leichtes Stäbchen *ab* (Fig. 211) ist bei *o* an einem langen Seidenfaden aufgehängt, um welchen sich die

beiden Arme *o b* und *o a* in wagerechter Lage im Gleichgewichte halten. Am einen Ende *a* dieses Wagebalkens sitzt ein Querstück *de* an dessen Endpuncten cylindrische Röhren aus demselben dünnen Glase gebildet herabhängen. Diese Röhren können nach Befinden mit demselben oder auch mit verschiedenen Gasen gefüllt werden. Gesetzt beide sind äquatorial zu den Polen des Electromagnets gestellt, die eine rechts, die andere links von der Magnetaxe. Beide enthalten Sauerstoff von gleicher Temperatur und Dichtigkeit, so zeigt sich nicht die geringste Einwirkung. Ist aber das Gas in dem einen Rohr dichter als in dem andern, so wird das dichtere angezogen, das andere fortgetrieben. Ist das eine luftleer, oder mit Stickstoff oder Wasserstoff gefüllt, während das andere Sauerstoff enthält, so wird das letztere gegen die Magnetaxe gezogen, das andere fortgetrieben.

Das Gelingen dieser Versuche erheischt sehr kräftige Electromagnete, auf deren Pole konisch zugespitzte Ansätze von weichem Eisen ruhen, die mit den Spitzen zusammenstossen, ohngefähr so wie Fig. 212 andeutet. Auf der Seite *a* hängt dann das eine Glasrohr, bei *b* das andere herab. Die Schwingungsversuche erfordern sehr dicke Ansätze ungefähr von der Form wie Figur 213, α in der Seitenansicht, β von oben zeigt (sogenannte Halbanker), welche auf die Magnetpole gelegt werden, und deren Spitzen *n* und *s* einander um so näher gerückt werden müssen, je unempfindlicher gegen die magnetische Einwirkung der dazwischen gebrachte Körper sich zeigt.

Fig. 212.

Fig. 213.



Der Diamagnetismus gasförmiger Körper wird durch Temperaturhöhung gesteigert. Hierauf beruht ein sehr merkwürdiges Verhalten der Flammen zwischen den einander sehr nahe gerückten Polspitzen *n* und *s*. Bringt man z. B. eine gewöhnliche Kerzenflamme nahe unter die beiden Polenden, so dass sie zwischen beiden frei aufsteigen kann, so wird sie sich in demselben Augenblicke, da man die Kette schliesst in zwei Aeste spalten, von welchen der eine rechts der andere links von der Verbindungslinie der Polspitzen sich erhebt. Dabei verschwindet der Eindruck der Hitze zwischen beiden Aesten so vollkommen, dass Phosphor nicht mehr entzündet wird, Wachs nicht schmilzt. Dies geschieht jedoch sogleich, so wie man die Kette unterbricht und die Flamme ihre frühere Gestalt wieder annimmt. Wird in ähnlicher Weise wie vorher die Flamme, ein glimmendes Rauchkerzchen unter die Polenden gestellt, so theilt sich der aufsteigende Rauch alsbald in zwei Säulen, die eine rechts, die andere links von der Magnetaxe.

Die magnetische gleich wie die diamagnetische Richtkraft äussert sich bei der Mehrzahl der Körper nur als ein sehr kleiner Bruchtheil von derjenigen Kraft, welche sich in Eisen, Nickel und Kobalt entwickeln lässt. Bei solchen Körpern die nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche Dichtigkeit besitzen, sei es beim natürlichen Vorkommen oder durch Zusammendrückung, ist die Richtkraft, wie Knoblauch und Tyndall bewiesen haben, im Sinne der grösseren Dichtigkeit vorherrschend, in dem Grade, dass diese Richtung, auch wenn sie nicht mit derjenigen der grössten Länge zusammenfällt, gleichwohl bei magnetischen Körpern vorzugsweise axial, bei diamagnetischen vorzugsweise äquatorial gestellt wird. Hieraus erklärt sich eine sehr eigenthümliche, zuerst von Plücker beobachtete Erscheinung der einaxigen und zweiaxigen Krystalle, deren Theilchen bekanntlich in der Richtung, gleichlaufend mit der Axe einander näher stehen, als nach jeder andern Richtung. Die einaxigen Krystalle zeigen nämlich eine vorherrschende Richtkraft parallel mit ihrer Axe, die zweiaxigen aber, nach der Mittellinie zwischen ihren beiden Axen. Plücker hat darauf aufmerksam gemacht, dass man durch dieses Verhalten in den Stand gesetzt ist, an völlig undurchsichtigen Krystallen, selbst wenn ihre äussere Form völlig verwischt ist, die Lage der Axe zu bestimmen.

Die Bemühungen der Physiker den inneren Zusammenhang der diamagnetischen mit den magnetischen Erscheinungen aufzuklären, haben bis jetzt zu keinem befriedigenden Resultate geführt. Selbst hinsichtlich der Frage, ob diamagnetische Körper ähnlich den magnetischen, die Fähigkeit besitzen, Polarität anzunehmen, herrschen noch Zweifel. Den Fall angenommen, dass sie zwischen den Magnetpolen ebenfalls polarisch werden, so würde daraus folgen müssen, dass, während magnetische Körper an dem einen Magnetpol zunächst liegenden Ende einen ungleichnamigen Pol erhalten, in diamagnetischen Körpern unter denselben Umständen ein gleichnamiger Pol hervorgerufen werde.

IX. Von den Wasserwellen.

470. Wenn der Spiegel eines Wasserbeckens an irgend einem Punkte erschüttert wird, z. B. durch Hineinwerfen eines Steins, Eintauchen des Fingers, oder indem man einen Theil des Wassers mittelst eines weiten Glasrohrs aufsaugt und wieder zurücksinken lässt, so pflanzt sich diese Störung ringsum über die ganze Oberfläche fort.

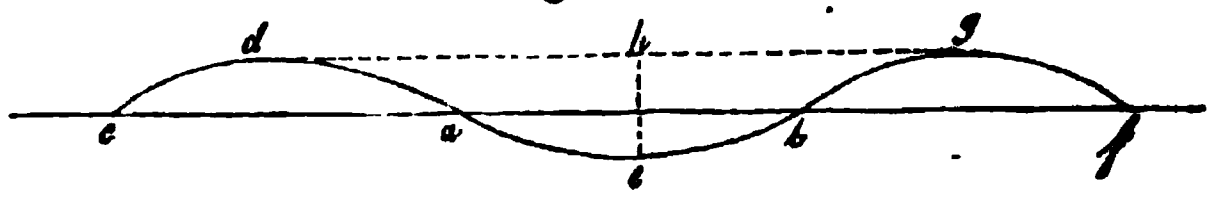
Man bemerkt zunächst über der erschütterten Stelle als Mittelpunkt eine ringförmige Erhebung und gleich darauf eine ringför-

mige Vertiefung, die beide in concentrischen, also immer grösser werdenden Kreisen fortschreiten. Diese Erscheinung wiederholt sich mehrmals in unmittelbarer Folge, aber mit abnehmender Stärke von der Erzeugungsstelle aus. Endlich tritt an diesem Punkte Ruhe und Ebenheit des Wassers ein und diese Ebene vergrössert sich mehr und mehr, indem sie gleichsam der letzten zirkelförmigen, wallartigen Erhebung nachrückt.

Jede solche Erhebung des Wassers nennt man einen Wellenberg, die darauf folgende Vertiefung, ein Wellenthal. Beide zusammen bilden eine Welle.

Die Figur 214 zeigt einen Durchschnitt der fortschreitenden Welle, radial von der Erzeugungsstelle aus. Die Linie *c a b* be-

Fig. 214.



zeichnet die Höhe des Wasserspiegels, über welchem sich der Wellenberg *c d a* um eben so viel erhebt, als sich das Wellenthal *a e b* darunter senkt. Die Summe der Erhebung und Senkung, die Linie *h e*, nennt man die Höhe der Welle, die Entfernung *c b* ihre Breite, zuweilen auch ihre Länge. Gewöhnlich versteht man bei den Wasserwellen unter Länge, die Ausdehnung rechtwinklig auf die Breite, solcher nebeneinander liegender Theilchen, die sich mit gleicher Geschwindigkeit zu bewegen scheinen. Die Länge in diesem Sinne genommen, kann eine gerade oder gebogene Linie sein. Es ist klar, dass bei ringförmigen Wellen, die von einem gemeinschaftlichen Centrum ausgehen, die Länge (für den Kreisumfang) sich fortwährend vergrössert. Zugleich nimmt aber auch ihre Breite zu und die Höhe vermindert sich, so dass auf unbegränzter, übrigens ruhender Wasserfläche die fortschreitenden Wellen endlich dem Auge unmerklich werden.

Verführt durch den ersten Anblick der Erscheinung möchte man glauben, dass die Welle über die Fläche des Wassers hingleite. Man erkennt jedoch den Irrthum leicht aus dem Umstande, dass schwimmende Körper von der fortschreitenden Welle nicht mitgerissen werden, sondern ohne wesentlich fortzurücken, sich nur auf und nieder bewegen. Der Charakter der Welle besteht aber eben so wenig in einem wiederholten senkrechten Aufsteigen und Niedersinken derselben Wassertheile, welches voraussetzen würde, dass Berg und Thal sich immer an derselben Stelle wiedererzeugen müssten. Es findet vielmehr ein stetiges Fortrücken des Gipfels des Berges wie der Tiefe des Thales statt, durch alle Puncte einer geraden Linie, die man in der Richtung der Breite gezogen denkt; zu vergleichen etwa der fortrückenden Biegung eines über eine wagerechte Fläche ausgebreiteten Tuches,

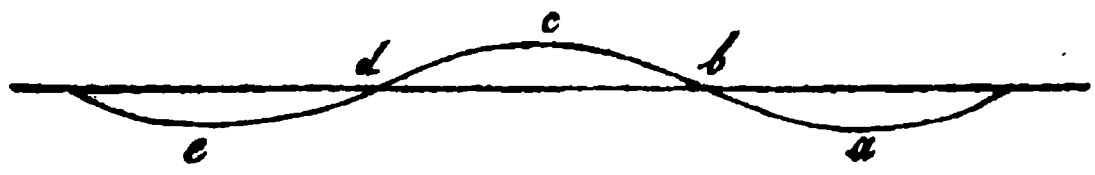
unter welchem eine Walze vorwärts gerollt wird. Gerade so wie die Biegung des Tuchs ist auch der vordere Theil des fortrückenden Wellenbergs im Steigen, der hintere Theil im Sinken begriffen.

Sehr deutlich lässt sich die Natur der Welle mit Hülfe eines langen, schmalen Behälters (Fig. 1. Pl V.) erkennen, dessen Seitenwände aus Glasplatten gebildet sind. Die Länge desselben beträgt 5 — 6 Par. Fuss, die Tiefe 8 — 10 Zoll, die Breite nur 6 — 7 Linien. Boden und Seiten sind von Holz, in welches die Glasscheiben dicht eingefugt werden müssen, damit kein Wasser durchgehen kann. Ein solches Behälter wird Wellenrinne genannt.

Man fülle die Wellenrinne zu $\frac{2}{3}$ ihrer Höhe mit Wasser an, ziehe mittelst eines Glasrohrs. dessen Weite der des Behälters gleich kommt, am Ende des letzteren, eine Wassersäule hervor und lasse sie, wenn der Spiegel wieder ruhig geworden ist, plötzlich herabsinken. Man sieht dann die erregte Welle im senkrechten Durchschnitte; man erkennt auf den ersten Blick, dass die convex gebogene Oberfläche des Wellenbergs so wie die concave des Wellenthals ohne einen in die Augen fallenden Gränzpunct in einander übergehen; man kann ohne grosse Mühe das Fortschreiten des Gipfels der ganzen Rinne entlang, das Anprallen am andern Ende, den Rücklauf der Welle, ihre Breite so wie das Steigen über und Sinken unter die ursprüngliche Wasserhöhe beobachten.

Senkt man eine Schiefertafel in das Wasser, so dass ein darauf angebrachter gerader Strich eben die ruhende Wasserfläche berührt und erregt dann eine Welle, so zeigt der benetzte Theil der Tafel über dem Striche, die Höhe des Wellenberges. Dieser benetzte Theil hat aber nicht etwa die gebogene Gestalt der Welle, sondern seine obere Begränzung ist eine gerade wagerechte Linie. Hieraus ergibt sich nun aufs deutlichste, dass der Wellenberg in stetiger Fortbewegung längs der ganzen Tafel vorübergegangen ist. Sein Vorder-

Fig. 215.



theil *a b c* (Fig. 215) muss folglich während des Fortschreitens der Welle fortdauernd im Aufsteigen, sein Hintertheil *c d e* im Niedersinken begriffen sein.

Durch den Druck dieses niedersinkenden Theils wird nicht nur das Erheben und Fortschreiten des Vordertheils bedingt, sondern auch im glatten Wasser hinter der Welle stets eine neue Welle erzeugt, die dann wie die erstere fortschreitet und wieder andere Wellen hinter sich bildet, deren Grösse jedoch mehr und mehr abnimmt. So kommt es, dass einer erregten Welle immer eine Reihe anderer nachfolgen, bevor die Wasserfläche sich wieder ganz glättet.

471. Wir haben bis jetzt nur das Auftreten der Welle an der Oberfläche des Wassers betrachtet. Die Wellenbildung ist jedoch eine Erscheinung, die sehr tief und vielleicht in allen Fällen bis auf den Grund der Wasserbehälter eindringt. Wenn man ein an beiden Glaswänden anschliessendes Brettstück, an beliebiger Stelle der Wellenrinne senkrecht und nach und nach zu verschiedenen Tiefen unter den Wasserspiegel einschiebt, dann an einem Ende der Rinne eine Welle erregt, so wird sich dieselbe trotz der

Unterbrechung bis zum andern Ende fortpflanzen, wiewohl mit abnehmender Stärke, je tiefer das Brettstück eingeschoben worden. Senkt man offene Glasröhren an verschiedenen Stellen der Rinne ein, so hebt sich das Wasser in denselben während des Vorüberschreitens der Welle.

Blickt man durch die Glaswände und das Wasser hindurch gegen das Licht, so bemerkt man schon mit blossen Augen, aber deutlicher mit der Loupe, im Augenblicke der Wellenbildung eine (unter der Voraussetzung gleich grosser Wellen) immer in derselben Weise wiederkehrende drehende Bewegung der im Wasser schwebenden Staubtheilchen. Diese Bewegungen gehen stets in senkrechten Ebenen vor sich. Es sind Curven von anscheinend ellyptischer Gestalt, die in sich selbst zurückkehren, wenn die unter einander verbundenen Wellenberge nnd Wellenthäler gleich oder fast gleich gestaltet sind, dagegen nicht wieder in sich selbst zurücklaufen, wenn die aufeinander folgenden Wellen von ungleicher Grösse sind. Bei bedeutender Tiefe des Wasserstandes sind die geschlossenen Schwingungsbahnen der Theilchen zunächst der Oberfläche fast Kreise; tiefer abwärts vermindert sich aber der senkrechte Durchmesser mehr und mehr gegen den wagerechten und in der Nähe des Grundes zeigt sich nur noch eine wagerechte Hin- und Herbewegung Aber auch der Spielraum dieses wagerechten Theils der Bewegung nimmt von oben nach unten allmählig ab.

Jede Erschütterung an der Oberfläche, durch welche eine Welle entsteht, pflanzt sich mit so grosser Geschwindigkeit in die Tiefe fort, dass die schwingenden Bewegungen in allen senkrecht unter einander liegenden Flüssigkeitstheilchen, so tief auch der Behälter sein mag, für die sinnliche Wahrnehmung gleichzeitig beginnen. In der wagerechten Richtung dagegen pflanzen sie sich auf die vor einander liegenden Theilchen nach und nach fort und zwar in demselben Sinne und mit derselben Geschwindigkeit, wie die Welle selbst fortschreitet. Dabei gerathen die wagerecht in der Richtung der fortschreitenden Welle hintereinander liegenden Theilchen in der Art *successiv* in schwingende Bewegung, dass sich niemals mehrere derselben, die zu einer Welle gehören, gleichzeitig in *entsprechenden* Puncten ihre Schwingungsbahnen befinden, sondern nur folgeweise in diese entsprechenden Lagen einrücken.

Diese schwingenden Bewegungen, bewirkt durch die mit der senkrecht aufwärts und niederwärts gehenden Bewegung nothwendig zusammenhängenden seitlichen Verschiebung der Wassertheile bilden eigentlich die Wellen. Was wir gewöhnlich so nennen ist nichts anderes als die Gestalt, welche die Oberfläche des Wassers in Folge der Rotation der darunter befindlichen Wassertheile annehmen muss.

Die besten Untersuchungen über den Zusammenhang der äusseren Erscheinung der Wasserwellen mit den schwingenden Bewegungen der Wassertheilchen, verdankt man den Brüdern Wilhelm und Heinrich Ernst Weber, aus deren grösserem Werke: Wellenlehre auf Experimente gegründet, die vorliegende Darstellung geschöpft ist.

Die Fig. 2 Pl. V. gibt ein anschauliches Bild des Vorgangs im Innern der Flüssigkeit. Die Linie *ABCDEF*, bezeichnet die Gestalt der Welle an der Oberfläche. Die punctirten Kreise *A*, *B*, *C*, *D* u. s. w. stellen die Schwingungsbahnen der gleichnamigen Theilchen an der Oberfläche vor, die Pfeile die Richtungen der gleichzeitigen Bewegungen der obersten sowohl wie der tiefer liegenden Theilchen. Wenn die Wassertheilchen gleichzeitig die durch die Pfeile angedeuteten Wegesstrecken beschrieben haben, ist der Gipfel des Wellenbergs von *D* nach *e* fortgerückt.

Aus der Richtung der Bewegung eines jeden Theilchens in seiner Bahn, die bei dem Vordertheile der Welle allemal aus einer wagerechten und aufsteigenden, bei dem Hintertheile aus einer wagerechten und senkrecht niedergehenden zusammengesetzt ist, ersieht man leicht, warum der Vordertheil einer jeden Welle im Steigen, der Hintertheil im Sinken begriffen ist.

Die senkrechte Höhe der Schwingungsbahn der an der Oberfläche des Wassers befindlichen Theilchen gibt die Höhe der Welle. In der Zeit, in welcher ein Theilchen eine halbe Schwingung vollendet, erhebt es sich vom tiefsten bis zum höchsten Stande oder umgekehrt. Die ganze Schwingungszeit entspricht folglich der Zeit des Fortrückens der Welle um eine Wellenbreite. Die Gebrüder Weber bemerkten, dass die schwingenden Bewegungen derselben Theilchen sich mehrmals wiederholten ohne einander zu hindern. Hierdurch begreift sich die rasche Hintereinanderfolge mehrerer Wellen an derselben Stelle und das gleichmässige Fortschreiten derselben immer in demselben Sinne.

Es gelang die Zeit zu messen, während deren Verlauf eine gewisse Anzahl, z. B. 3 oder 4 Schwingungen desselben Theilchens vollendet wurden, und hieraus liess sich dann wieder die Breite der Welle ableiten. Denn diese wird gefunden, indem man den während einer bestimmten Zeit durch die Welle zurückgelegten Weg durch die Anzahl Schwingungen dividirt, welche ein flüssiges Theilchen in derselben Zeit vollendete.

Die Breite der Wellen in der Rinne vergrössert sich allmählig auf Unkosten ihrer Höhe, jedoch ohne dass die Geschwindigkeit des Fortschreitens sich ändert. Man darf hieraus schliessen, dass auch die bewegende Kraft unverändert bleibt, und dass sich dieselbe wie die Grösse der Welle, nämlich wie das Gewicht des über die spiegelnde Oberfläche gehobenen Wassers verhält. Die Geschwindigkeit der Wellen ist hiernach zugleich von ihrer Breite und Höhe abhängig.

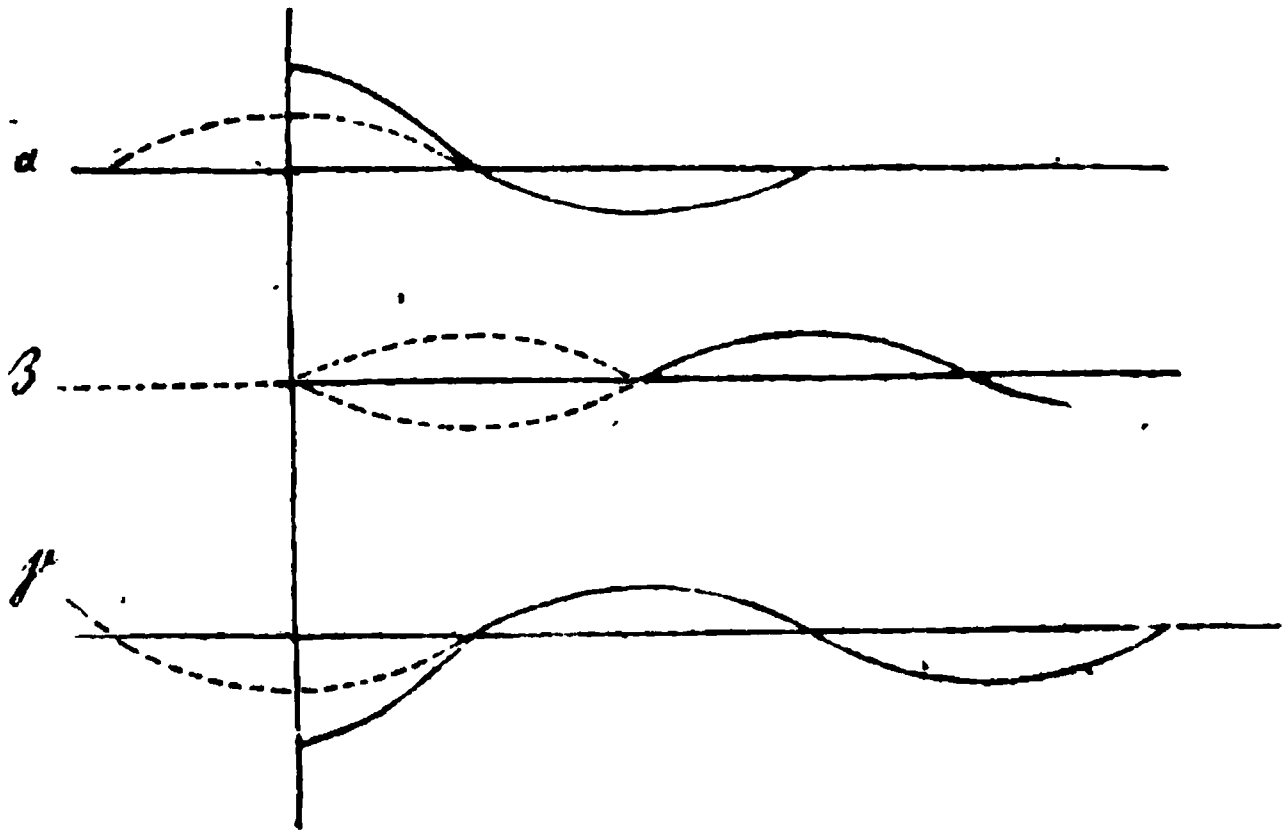
Im freien Wasser nimmt die Welle, während sie sich von der Erzeugungsstelle ausbreitet, an Breite aber auch an Länge zu, indem sich zugleich die Höhe bedeutend verringert. Die bewegende Kraft in gleich langen Wellenstücken muss dadurch allmäh-

lig abnehmen und mit ihr die Geschwindigkeit der mehr und mehr sich ausbreitenden Welle. Einen anderen Aufenthalt erfährt die Welle durch den Widerstand des Bodens. Sie pflanzt sich daher in tiefem Wasser mit grösserer Schnelligkeit fort als in weniger tiefem. Das specifische Gewicht einer Flüssigkeit ist ohne Einfluss auf die Beschaffenheit der darin erzeugten Welle, aus demselben Grunde aus welchem die Ausflussgeschwindigkeit durch enge Oeffnungen davon unabhängig ist.

472. Wenn eine Welle das Ende des Behälters erreicht hat, verlieren die schwingenden Flüssigkeitstheilchen durch das Anprallen an der Wandfläche den wagerechten Theil ihrer Bewegung und erheben oder senken sich zu Folge des ihnen bleibenden senkrechten Theils. Die senkrecht aufsteigenden Flüssigkeitstheilchen, indem sie wieder niedersinken. oder die senkrecht niedergehenden, indem sie wied r aufsteigen, geben Veranlassung zur Bildung einer neuen Welle, die ganz so wie die frühere, nur im entgegengesetzten Sinne fortschreitet. Diess ist die zurückgeworfene Welle.

Der anprallende Wellenberg (Fig. 216 α), weil er im Augenblicke, da sein Gipfel die Wand erreicht hat, sich um die ganze

Fig. 216.



frühere Breite seines Vordertheils verkürzen musste, während doch die bewegende Kraft sich nicht geändert hat, erhebt sich fast zu der doppelten Höhe der frei fortschreitenden Welle. Aus dem gleichen Grunde senkt sich das anprallende Thal tiefer ein (γ). Der Wellenberg beginnt indess schon zurückzuschreiten, bevor das ihm folgende Thal die Wand erreichen konnte, und sein hinterer Fusspunct verlässt die Wand in eben dem Augenblicke, da der vorderste Punct des Thals an derselben ankommt. Berg und

Thal, die zusammen eine Welle ausmachen, gehen also während der Zurückwerfung durch einander durch, dergestalt, dass letzteres einen Augenblick durch ersteren ausgefüllt wird und das Wasser um die halbe Wellenbreite geebnet erscheint. (Fig. 216 β) Die der Wandfläche zunächst liegenden Theile setzen aber alsbald die allen gemeinschaftliche niedergehende Bewegung fort, die entfernteren fahren fort aufzusteigen; bald ist die Welle wieder vollständig und zwar in derselben Ordnung wie früher entwickelt. D. h. dieselbe Wellenhälfte (Berg oder Thal), welche früher voranging, ist auch wieder bei dem Rücklaufe voran.

Wenn die zurückgeworfene Welle mit einer später erzeugten, die das Ende der Rinne noch nicht erreicht hatte, zusammentrifft, so heben sich die wagerechten Bewegungen der schwingenden Theilchen wechselseitig ganz oder theilweise auf, die senkrechten werden verstärkt. Jede Welle dient gleichsam der andern als Wandfläche; die zusammentreffenden Wellenberge verstärken sich daher und erreichen, wenn beide Wellen von gleicher Grösse waren, jetzt bei unveränderter Breite fasst die doppelte Höhe; die zusammentreffenden Wellenthäler bilden in gleicher Weise eine verhältnissmässig vermehrte Einsenkung. Wenn aber der Wellenberg der einen Welle mit dem Thal der andern zusammentrifft, wird auf einen Augenblick die glatte Wasserfläche ganz oder doch theilweise wieder hergestellt. Unmittelbar darauf geht dann die Wellenbewegung nach beiden Seiten fort, wie wenn keine von beiden Wellen die andere gestört hätte.

Auch in grösseren Wasserbehältern bemerkt man, dass verschiedene Wellen zusammentreffen, oder einander durchkreuzen können, ohne sich in ihrer Bewegung im Allgemeinen zu stören. Aber immer findet man dann, dass im Augenblicke der Durchkreuzung, an den Durchkreuzungsstellen selbst ein wechselseitiges Verstärken oder Aufheben eintritt. — Wellen von nahe gleicher Grösse und also auch gleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die von ganz nahe liegenden Puncten ausgehend, sich nach derselben oder nach wenig verschiedener Richtung fortpflanzen, vereinigen sich daher, indem sie zusammentreffen, stellenweise zu grösseren Wellenstücken, die dann als eine einzige grössere Welle fortschreiten, während an anderen Stellen, wo der erhöhte Theil der einen mit dem vertieften der andern zusammenfällt, und wo die Schwingungen ihrer Theilchen sich in den Zeitpuncten entgegengesetzter Bewegung begegnen, sie sich wechselseitig zernichten.

Wenn Wellen von gleicher Grösse von beiden Enden der Wellenrinne, je zu bestimmten Zeitabschnitten so zurückgeworfen werden, dass gleichartige Theile derselben einander immer an denselben Puncten begegnen, so heben sich überall die wagerechten Bewegungen der schwingenden Flüssigkeitstheile auf und

die Wellenbewegung verwandelt sich in ein senkrechtes Auf- und Niedersteigen der flüssigen Theile, das sich mittelst der Loupe sehr gut beobachten lässt. Diess sind die von den Gebrüdern Weber entdeckten stehenden Wasserwellen. Sie unterscheiden sich von den fortschreitenden Wellen wesentlich dadurch, dass bei diesen letzteren der Vordertheil eines Wellenberges immer im Steigen, der Hintertheil immer im Sinken bgriffen ist, während bei den stehenden Wellen alle Theile desselben Wellenberges gleichzeitig niedersinken, alle Theile desselben Wellenthales sich gleichzeitig erheben. Dabei erscheint die Oberfläche der Flüssigkeit in regelmässige Abtheilungen getheilt, von denen die benachbarten immer in entgegengesetzten Richtungen isochronisch schwingen, während die Uebergangspuncte von einer Abtheilung zur andern ganz in Ruhe bleiben.

In Figur 3 und 4, Pl. V., erblickt man zwei Beispiele stehender Wellen. Um dieselben in der Wellenrinne hervorzubringen, wird ein langes, schmales Brettstück, am einen Ende der Rinne auf dem Boden eingesetzt und dann um seine unterste Kante, nach einem gewissen Takte hin und her bewegt. Je nach der Schnelligkeit dieses Taktes entsteht nur eine einzige stehende Welle oder es bilden sich deren zwei oder drei oder noch mehrere.

Die älteren Naturforscher hielten die Wellen im freien Wasser für eine den stehenden Wellen ähnliche Erscheinung. Diese Ansicht ist jedoch durch die experimentellen Untersuchungen der Gebrüder Weber aufs bestimmteste widerlegt worden.

473. Die gewöhnliche Ursache der Wellenbildung im Freien ist der Wind. Der Stoss des Windes erzeugt aber nicht nur Wellen, sondern trägt auch noch zu ihrer weiteren Verstärkung bei. Denn die in der Richtung des Windes fortschreitende Welle wird am niedergehenden hinteren Theile durch die Einwirkung des Windes nur um so stärker niedergedrückt, folglich das Erheben des vor dem Winde geschützten Vordertheils befördert und verstärkt. Gleichwohl können nur solche Wellen, die sehr weit fortschreiten, und dabei immer vom Winde verstärkt werden, eine ausgezeichnete Grösse erreichen. Grosse horizontale Ausdehnung der Wasserfläche bei hinreichend grosser Tiefe, um die freie Entwicklung der Welle nicht stören zu können, ist daher eine nothwendige Bedingung zur Hervorbringung jener mächtigen Meereswogen, zwischen welchen oft ein Schiff vor dem Blick des andern verschwindet.

Im Ocean sollen die Wellen durch die Heftigkeit des Windes und indem mehrere zusammentreffen, zuweilen die Höhe von 60 Fuss erreichen. In kleineren Meeren, wie in der Ostsee und im Mittelmeer entstehen niemals so hohe Wellen. Die gewöhnliche Höhe einer einfachen Welle übersteigt nicht 6 Fuss.

Wenn eine im tiefen Wasser entwickelte Welle von beträchtlicher Grösse, während ihres Laufes auf seichtere Stellen gelangt, so wird ihre Bewegung verlangsamt, ihre Breite nimmt ab, die

Höhe nimmt zu (ähnlich wie bei dem Anprallen an einer Wandfläche und auch aus demselben Grunde) und sie kann dadurch an ihrer vorderen Seite so steil werden, dass sie sich endlich nicht mehr erhalten kann und überstürzt. Man sagt dann: sie brandet.

Die Erscheinung der Ebbe und Fluth ist nichts anders, als eine grossartige Wellenbewegung, erzeugt durch die periodisch wechselnde Stärke der Anziehung, welche Mond und Sonne auf das Wasser der grossen Oceane, und zwar hauptsächlich des stillen Meeres äussern.

X. Von der Elasticität und der Wellenbewegung in elastischen Körpern.

474. Elasticität nennt man das Bestreben der Körper in ihre durch äussere Einwirkungen irgend wie veränderte Gestalt oder Grösse zurückzutreten, so wie diese äusseren Einwirkungen nachlassen (36).

Diese Eigenschaft, überall wo sie sich findet, beweist das Bestehen eines Gleichgewichtszustandes zwischen den Molekularkräften, (nämlich der Molekularanziehung und Molekularabstossung) so lange ein Körper in seinem natürlichen, von äusseren Einwirkungen unabhängigen Zustande verweilt. D. h. wie hart oder fest ein Körper sein mag, so ist dennoch die Kraft, welche sich der Trennung seiner Theile widersetzt, beim Beginne des äusseren Eindrucks Null; sie entwickelt sich erst, indem die Abstände der Theilchen sich verändern und gewinnt innerhalb gewisser Gränzen ein um so grösseres Moment, je weiter die Theilchen aus ihrer ursprünglichen Lage verrückt werden. Diese werden daher, nach dem Aufhören des störenden Einflusses, ähnlich dem aus seiner Ruhelage gebrachten Pendel, mit beschleunigter Bewegung in ihre natürliche Gleichgewichtslage zurückgetrieben, erreichen dieselbe in dem Augenblicke, da die treibende Kraft zwar wieder Null, die Geschwindigkeit aber ein Grösstes geworden ist, und müssen sie folglich von Neuem, jetzt aber im entgegengesetzten Sinne verlassen. So kommt es, dass die Erscheinung der Rückkehr elastischer Theile in die Ruhelage stets von einer Reihe, mehr oder weniger in die Augen fallender Schwingungen begleitet ist.

Alle festen Körper, jeder innerhalb gewisser Gränzen, sind elastisch. In besonders auffallender Weise zeigen diese Eigenschaften: Federn von gehärtetem Stahl, dünne Streifen und Fäden

von Glas, Caoutschuck oder elastisches Gummi, trocknes Tannenholz, Elfenbein, Knochen, Haare, Sehnen und Muskeln, Vogelfedern u. s. w. Auch den tropfbaren Flüssigkeiten fehlt sie nicht ganz. Ihre Zusammendrückbarkeit und Wieder - Ausdehnbarkeit (102) so wie die Erscheinungen der Capillarität (181) sind augenscheinliche Belege dafür. Die gasförmigen Körper leisten nur Widerstand gegen zusammendrückende Kräfte und verbinden damit ein anscheinend unbegrenztes Ausdehnungsvermögen; sie besitzen also Elasticität nur im Sinne der Compression.

Es gibt im Allgemeinen vier Arten, die Elasticität eines Körpers in Anspruch zu nehmen, nämlich: Dehnen oder Strekken (Ausziehen nach der Längenrichtung), Zusammendrükken, Biegen und Drehen.

475. Die grösste dehnende Kraft, welche sich anwenden lässt, ohne dass ein fester Körper sein Vermögen auf die früheren Dimensionen zurückzukommen, verliert, ist das, was seine absolute Stärke oder absolute Festigkeit ausmacht. Die Verlängerung, welche eine Stange oder ein Faden von überall gleichem Querschnitte durch dieses Kraftmaximum erleidet und woraus hervorgeht, um wie viel derselbe ohne bleibend gestreckt zu werden, sich ausziehen lässt, wird seine Elasticitätsgränze genannt. Innerhalb dieser Gränze ist ein Körper vollkommen elastisch und sein Widerstand, d. i. seine elastische Kraft ist der dehnenden oder spannenden Kraft gleich und wächst gleichmässig mit derselben. Seine durch Dehnung bewirkten Verlängerungen verhalten sich innerhalb der Elasticitätsgränze wie die spannenden Kräfte. (S'gravesande in Biot traité 1. 470.)

Versucht man aber einen Körper noch weiter zu strecken, so wird er entweder zerrissen, oder er erfährt eine theilweise bleibende Verlängerung in der Richtung der Zugkraft.

Viele Körper, besonders unter denjenigen Metallen, die eine sehr merkliche bleibende Ausstreckung gestatten, welche sich z. B. Schmieden, Hämmern oder Walzen lassen, wie Eisen und Stahl, erleiden, wenn sie zuvor noch gar nicht gedehnt worden waren, durch jede angehängte Last eine bleibende Streckung, und ihre Elasticität geht im Allgemeinen nicht weiter als bis zur Gränze der Belastung durch welche sie bereits früher ausgezogen worden waren. Durch eine stärkere Spannung werden sie bleibend gestreckt, aber zugleich auch wird ihre Elasticitätsgränze erweitert. Diese Gränze rückt demnach um so weiter hinaus, je mehr man die Stäbe oder die Drähte gespannt hatte, ohne sie zu zerreissen.

Die Grösse der elastischen Dehnung für die Einheit des Gewichtes bleibt ungeachtet dieser allmäh-

ligen Veränderungen im inneren Zustande des Stoffes ganz unverändert und den angehängten Gewichten proportional.' (Gerstners Mechanik B. 1. S. 259; Pogg. Ann. Ergänz. II. S. 19.)

Stäbe und Schienen von Eisen oder Stahl, an welchen schwere Lasten angehängt, welche z. B. beim Brückenbau verwendet werden sollen, müssen aus diesem Grunde vor ihrer Verwendung auf die grösste Spannung, welche sie in der Folge auszuhalten haben, geprüft werden. Eine Kettenbrücke von nicht geprüften Eisenstäben ausgeführt, würde bald eine bleibende Senkung annehmen müssen.

Aus demselben Grunde wird die Elasticität geschmeidiger Metalle, wie des Eisens, Stahls, Kupfers, Messings, Silbers, Platins u. s. w. durch Hämmern, Walzen und insbesondere durch das Drahtziehen ungemein erweitert. Dieser Zustand gesteigerter Elasticität geht aber wieder verloren, wenn Metalldrähte nach dem Ziehen stark ausgeglüht werden. Häufig verliert er sich auch schon durch blosse Erschütterung; so wie durch eine Summe von kleinen Einwirkungen im Laufe der Zeit. Geschmeidige Metalle werden durch das Drahtziehen spröde, um so mehr, je mehr sich ihre Elasticitätsgränze erweitert.

Bei sehr spröden Körpern, wie beim Glase, ist die Gränze der Spannung, bis zu welcher sie vollkommen elastisch sind, unveränderlich und sie zerreissen so wie diese Gränze überschritten wird.

Manche Stoffe, zumal aus dem Thier- und Pflanzenreiche, wie Holz, Gummi-Elasticum, Darmsaiten u. s. w. besitzen die Eigenschaft, die stärkste elastische Dehnung, die sie in Folge einer Spannung von gegebener Grösse überhaupt erleiden können, nicht sogleich sondern nur nach und nach, öfters erst nach mehreren Tagen einer gleichförmig fortdauernden Einwirkung anzunehmen und eben so auch, nach Abnahme der Belastung, nur allmählig zu der anfänglichen Länge zurückkehren. W. Weber nennt dieses Verhalten, das er zuerst bei der Seide beobachtet und genau untersucht hat, elastische Nachwirkung. Dieselbe unterscheidet sich von der ziemlich beträchtlichen bleibenden Dehnung eines vorher noch ungespannten Seidenfadens wesentlich dadurch, dass sie stets, sowohl nach vermehrter wie nach verminderter Spannung eintritt und zwar immer in derselben Weise, so oft man auch den Versuch wiederholen mag. (Pogg. Ann. B. 34. S. 247; B. 54. S. 1.)

476. Die Last, welche ein prismatischer oder cylindrischer Stab tragen kann, ohne zu zerreissen, verhält sich wie die Grösse seines Querschnittes und ist unabhängig von seiner Länge. Theoretisch ist kein Grund vorhanden, warum eine Stelle eines solchen Stabes leichter als eine andere reissen sollte. Geschieht es gleichwohl, so ist es nur eine Folge mangelnder Gleichartigkeit. Bei vollkommener Gleichartigkeit des Stoffes müssten in dem Augenblicke, da die äusserste Gränze des elastischen Widerstandes durch die angehängte Belastung überschritten ist, alle Theilchen gleichzeitig auseinandergehen. Diese Gränze wird jedoch niemals erreicht und man betrachtet daher gewöhnlich dasjenige Gewicht,

wodurch ein Stab, dessen Querschnitt gleich ist der Einheit des Flächenmasses, zerrissen wird, als Mass seiner absoluten Festigkeit.

In diesem Sinne ist die absolute Festigkeit der Körper, insbesondere diejenige der Baumaterialien sehr häufig untersucht worden. Die gewonnenen Resultate, so wichtig sie in praktischer Beziehung sind, haben wissenschaftlich einen weit geringeren Werth, weil sie zum Theile von Umständen abhängen, deren Berücksichtigung man nicht in der Gewalt hat und weil sie niemals zu Aufschlüssen über das Wesen der Molekularkräfte geführt haben.

477. Die elastische Verlängerung, welche ein Stab durch ein und dasselbe angehängte Gewicht erfährt, verhält sich wie die Länge des Stabes und umgekehrt wie die Grösse seines Querschnittes. Man nennt die an einer Stange von bekannter Länge und bekanntem Querschnitte durch eine ebenfalls bekannte Belastung erhaltene Verlängerung, dividirt durch diese Länge und diese Belastung und multiplicirt mit dem Querschnitte; oder mit andern Worten ausgedrückt: die elastische Dehnung für die Einheit der Länge, der Querschnittsfläche und des spannenden Gewichtes: den Dehnungsquotienten.

Eine Zahl, welche das Verhältniss der elastischen Verlängerung zu der dazu erforderlichen Kraft, oder auch diejenige Kraft ausdrückt, die bei Körpern von gleicher Länge und gleichem Querschnitte eine gleiche Verlängerung bewirkt, heisst Coefficient oder Modulus der Elasticität. Gewöhnlich bezeichnet man denselben durch diejenige Anzahl Pfunde, wodurch eine Stange vom Querschnitte Eins, unter Voraussetzung vollkommener Elasticität bis zur doppelten Länge ausgezogen werden müsste, und findet ihn dann, indem man mit dem Dehnungsquotienten in 1 dividirt; denn der Dehnungsquotient verhält sich zur Längeneinheit, wie die Gewichtseinheit zum Elasticitäts-Modulus.

Dividirt man die so gefundene Gewichts-Zahl durch das Gewicht der Kubikeinheit des betreffenden Stoffes, so erhält man die Länge einer aus demselben Stoffe gebildeten Stange, welche in senkrechter Lage am oberen Ende befestigt, durch das Gewicht ihrer eigenen Masse, ihren obersten Zoll auf die doppelte Länge ausziehen müsste. Häufig wird der Elasticitäts-Modulus durch die, auf dem eben angedeuteten Wege berechnete Länge ausgedrückt.

Nennt man den Dehnungsquotient α, den Elasticitätscoefficienten nach der ersteren Art ausgedrückt E, nach der zweiten e, und endlich das spec. Gewicht eines Stoffes δ;

$$\text{so ist } E = \frac{1}{\alpha}; \quad e = \frac{E}{\delta} = \frac{1}{\alpha\,\delta}$$

In der folgenden Tabelle sind die Dehnungsquotienten und Elasticitäts-Coefficienten einiger Körper mit ihrer Dichtigkeit und ihrer absoluten Festigkeit zusammengestellt. Die letzten finden sich in der mit t überschriebenen

Spalte, Die Gewichte sind Kilogramme, die Querschnittsflächen Millimetre. Die Spalte α enthält in Millimetern die Verlängerungen, welche eine Stange von 1 Q. Millimetre Querschnitt und 1 Metre Länge erfährt, wenn ihr unteres Ende durch ein Kilogr. belastet wird; durch die in der Spalte t angegebene Belastung würde dieselbe Stange zerrissen und durch das in der Spalte E angezeigte Gewicht auf die doppelte Länge ausgezogen werden, wenn ihre Theile überhaupt so lange zusammenhalten könnten.

	δ	t	E	α
Eisen, ausgezogen	7,748	61,1	20869	0,0479
angelassen*) . . .	7,757	46,9	20794	0,0481
Clavierdraht	— —	96,0	18180	0,0550
Stahldraht, ausgez.	7,718	70,0	18809	0,0532
angelassen	7,622	40,0	17278	0,0579
Stahlfeder	7,420	161,0	16922	0,0591
Gussstahl	7,717	65,7	19549	0,0513
Gusseisen	— —	14,5	12700	0,0787
Kupfer, ausgez.	8,933	40,3	12450	0,0803
angelassen	8,936	30,5	10519	0,0951
Messingdraht	8,427	50	9277	0,1078
Silber, ausgez.	10,369	29,0	7357	0,1359
angelassen	10,304	16,0	7140	0,1401
Gold, ausgez.	18,514	27,0	8131	0,1230
angelassen	18,035	10,1	5584	0,1791
Platindraht	21,166	34,1	15928	0,0628
Blei, gegossen	11,215	1,25	1775	0,5634
ausgezogen . . .	11,165	2,07	1803	0,5546
Natronglas (bleifrei) . . .	2,446	1,00	6890	0,1451
Quecksilber	13,596	. . .	2943	0,3398
Wasser	1	....	218	4,5854

Bei Körpern von ganz gleichartiger Masse, z. B. beim Glase, zeigt sich nach verschiedenen Richtungen eine gleiche elastische Beschaffenheit. Dies gilt jedoch unter den Krystallen nur für diejenigen, welche zum Würfelsystem gehören. Alle andern krystallisirten Körper sind nach verschiedenen Richtungen ungleich elastisch und ungleich dicht. Spuren dieser Verschiedenheit findet man nach Savart bei den meisten festen Körpern, selbst bei den Metallen.

Der Elasticitäts - Coefficient ist für ein und denselben Körper und selbst nach ein und derselben Richtung keine ganz constante Grösse. Nicht nur die chemische Reinheit des Stoffes ist von grossem Einflusse darauf, sondern auch jede Aenderung in der Dichtigkeit und Temperatur. Nach Werthheim wird er durch alle Umstände vergrössert, welche die Dichtigkeit erhöhen und so umgekehrt. Durch Temperatur - Erhöhung vermindern sich die Elasticitäts-Coefficienten in stetiger Weise, jedoch sehr langsam. (Pogg. Ann. Ergänz. II.)

Die Elasticitäts - Coefficienten der Metalllegirungen fand Werthheim gleich dem Mittel aus denjenigen ihrer Bestandtheile, ohne dass durch die bei der Bildung eines Metallgemisches stattfindenden Verdichtungen merkliche Abänderungen herbeigeführt wurden.

478. Während die Länge eines cylindrischen oder prisma-

*) D. h. nach dem Ziehen ausgeglüht.

tisch gestalteten Körpers durch angehängte Gewichte zunimmt, vermindert sich seine Dicke, jedoch nicht verhältnissmässig, dergestalt, dass durch die einseitige Dehnung nach der Längenrichtung gleichwohl der räumliche Inhalt sich vergrössert, also das specifische Gewicht abnimmt. Poisson war durch theoretische Untersuchungen zu dem Schlusse gekommen, dass die Volumsvergrösserung, bezogen auf die kubische Einheit, die Hälfte betrage von der Verlängerung bezogen auf die Längeneinheit. Direkte Versuche von Werthheim haben jedoch dieses Verhältniss nicht bestätigt. Er wendete hohle Cylinder an, versehen mit einer capillaren Röhre und ganz angefüllt mit Flüssigkeit. Die durch angehängte Gewichte bewirkten Verlängerungen des Cylinders wurden dann direkt gemessen, die Erweiterungen seines Volums aus dem veränderten Stande der Flüssigkeit in den Haarröhrchen bestimmt. So fand Werthheim, dass die Volumszunahmen nicht der Hälfte sondern nur dem Drittel der Verlängerung gleich sind *). Denkt man sich jetzt die dehnende Kraft nach den drei Dimensionen wirksam, so wie es z. B. der Fall ist, wenn in ein mit Flüssigkeit ganz angefülltes und geschlossenes Gefäss, mittelst einer Druckpumpe noch eine neue Menge von derselben Flüssigkeit eingetrieben wird, und setzt man die Vergrösserung der Längeneinheit wie vorher gleich α, so würde hiernach die Vergrösserung auf die Einheit des Volums $3.\frac{\alpha}{3} = \alpha$ ausmachen. D. h. der Dehnungsquotient für die lineare und für die kubische Ausdehnung ist gleich gross. Nach dem von Poisson gegebenen Gesetze würde der letztere $\frac{3\alpha}{2}$ betragen, wenn α den Werth des ersteren bezeichnet.

479. Alle Körper lassen sich durch äusseren Druck verdichten. Die dadurch eintretenden Verkürzungen und Volumsverminderungen sind, in sofern beim Nachlassen der äusseren Einwirkung der frühere Umfang sich vollkommen wieder herstellt, also innerhalb der Gränze der vollkommenen Compressions-Elasticität, den drückenden Kräften proportional.

Die Grösse der durch Druck bewirkten Veränderungen, bezogen auf die Einheit der Masse, d. i. der Quotient der Zusammendrückbarkeit ist gleich dem Quotient der Dehnbarkeit.

Die Zusammendrückbarkeit und Elasticität der tropfbaren Flüssigkeiten (No. 162) ist zuerst von Canton mit Bestimmtheit bewiesen worden. Er füllte die Flüssigkeit in eine geräumige Glaskugel, die in ein Capillarrohr ausging, das calibrirt und dessen räumlicher Inhalt mit dem der Kugel genau verglichen war. Diese Geräthschaft, das Piézometer, wurde unter eine Glas-

*) Ann. ch. phys. (3) XXIII. 52. Pogg. Ann. LXXIV. 150.

glocke gebracht, in welcher die Luft verdichtet werden konnte. Der vermehrte Druck wirkte dann durch die Mündung des Capillarrohrs auf die Flüssigkeit und pflanzte sich durch diese bis auf die Wand des Behälters fort, welche denselben Druck zugleich von Aussen zu erleiden hatte. Es ergab sich ein mit der Zunahme der Luftspannung proportionales Sinken der Flüssigkeit in dem Capillarrohr, und eben so ein mit dem abnehmenden Drucke proportionales Steigen. Diese Versuche wurden später von Oerstedt mit der Abänderung wiederholt, dass das Piézometer mit Wasser, an der Stelle der Luft umgeben wurde. Das Hauptresultat blieb unverändert. Der auf die eine oder die andere Weise gefundene gleiche Werth bezeichnete jedoch nur die scheinbare Zusammendrückung, weil mit der Flüssigkeit zugleich auch die Glasmasse zusammengedrückt und dadurch der innere Raum des Behälters etwas vermindert worden war. — Colladon und Sturm suchten die wirkliche Zusammendrückung dadurch zu ermitteln, dass sie unter Voraussetzung, der innere Raum des Glasbehälters werde durch den von Innen und Aussen gleichzeitig wirkenden Druck um eben so viel zusammengedrückt, als ein demselben gleicher Glaskern, aus der direkt gemessenen linearen Dehnung des Glases die kubische Zusammendrückung, und zwar mit Berücksichtigung der Formel $K = \frac{3}{2}\alpha$, durch Rechnung bestimmten, und diesen berechneten Werth der scheinbaren Verdichtung der Flüssigkeit hinzufügten. Neuerdings hat sich auch Regnault mit dieser Frage beschäftigt und seine Versuche so geleitet, dass daraus die Verdichtung der Flüssigkeit zugleich mit der Volumsveränderung des Piézometers bestimmt werden konnte. Abwechselnd wurde nämlich entweder bloss die Aussenwand des Glasbehälters, oder blos das Innere, oder endlich das Innere und Aeussere zugleich einem verstärkten Luftdrucke ausgesetzt. So erhielt er drei Beobachtungen die zu eben so vielen Gleichungen zwischen der unbekannten Volumsveränderung der Flüssigkeit und der ebenfalls unbekannten Volumsveränderung der Behältermasse führten. Regnault hat auf diesem Wege die wirkliche Zusammendrückbarkeit des Wassers und des Quecksilbers zugleich mit der eines Piézometers von Kupfer, eines zweiten von Messing und eines dritten von Glas, gemessen*).

Hier sind seine Resultate zusammengestellt. Die Spalte K enthält die kubische Zusammendrückbarkeit des inneren Raumes der Behälter für 1 Atmosphärendruck auf 1 Quadratcentimeter.

Hülle	K	Wasser		Quecksilber
		scheinbar	wirklich	wirklich
Kupferne Kugel .	0,000001338	0,00004639	0,00004773	— — —
Messingene Kugel	0,000001479	0,00004685	0,00004833	— — —
Gläserner Cylinder mit halbkugelförmigen Grundflächen	0,000002290	0,00004430	0,00004659	0,000003524
			0,00004755	0,000003524

Die Werthe K, welche das Verhältniss der Zusammendrückbarkeit, der von verschiedenen Hüllen umschlossenen Räume für 1 Atmosphärendruck oder 1,037 Kilogr. auf 1 Q. Centmtr. bezeichnen, sind nicht mit den Quotienten α der Dehnbarkeit oder Zusammendrückbarkeit der betreffenden Behältermassen zu verwechseln. Beide sind jedoch proportional, und es verhält sich nach Wertheim $K : \alpha = 4 : 3$.

*) Relation des experiences ect. par M. V. Regnault. Paris 1847.

Da nun der Quotient der kubischen Veränderungen dem der linearen gleich ist, so ergibt sich der Dehnungsquotient, wenn das Kilogramm als die Einheit der ziehenden oder drückenden Kraft, das Millimeter als Einheit der Länge, das Quadratmillimeter als Einheit der Fläche gesetzt wird:

$$\alpha = \frac{3}{4} \cdot \frac{100\ K}{1{,}037};$$

so z. B. ist für Kupfer

$$\alpha = \frac{3}{4} \cdot \frac{100}{1{,}037} . 0{,}000001338 = 0{,}0000967.$$

Diese Zahl stimmt mit dem durch Dehnung direkt gefundenen Dehnungsquotienten des Kupfers nahe überein.

Die Zahl 0,00004755 ist der Quotient der wirklichen Zusammendrückung des Wassers, der Atmosphärendruck als Einheit gesetzt. Daher der mit α vergleichbare Werth für Wasser:

$$\frac{0{,}00004755 . 100}{1{,}037} = 0{,}0045854$$

Das Wasser ist mehr als 45 mal dehnbarer oder zusammendrückbarer als das Kupfer und fast 100mal mehr als das Eisen.

Der Elasticitäts-Coefficient des Wassers ist:

$$E = \frac{1}{0{,}0045854} = 218.$$

Der des Quecksilbers ist: $E = 2943$.

480. Wird ein cylindrischer oder prismatischer Körper auf seinen beiden Grundflächen zusammengedrückt, während seine übrige Oberfläche frei bleibt, so verkürzt er sich und wird dikker. Um dieselbe Verkürzung hervorzubringen, wenn das Prisma von allen Seiten einem gleichen Drucke ausgesetzt wird, ist nach Werthheim die dreifache Kraft im Sinne der Axe erforderlich.

Bei fortgesetztem Drucke auf die Oberfläche einer Säule, deren Seitenflächen frei sind, fallen endlich ihre Theile auseinander, sie wird zerdrückt. Die hierzu nöthige Kraft nennt man die rückwirkende Festigkeit. Ihre Grösse ist von der Grösse der Grundfläche, aber auch von der Höhe der Säule abhängig. Der rückwirkende Widerstand wächst nicht wie die absolute Festigkeit, proportional mit dem Querschnitte oder der Grundfläche, sondern in einem weit grösseren Verhältnisse, weil die inneren Theile um so mehr tragen können, je mehr sie durch die Festigkeit der Umgebung gehindert sind, auseinander zu gehen. Der Einfluss der Höhe ist keinem festen Gesetze unterworfen und beruht nur darauf, dass zufällige Ungleichartigkeit der Masse sich bei höheren Säulen leichter geltend macht. Vergleichbare Ausdrücke für die rückwirkende Festigkeit verschiedener Körper sind daher noch weniger zu erlangen als für die absolute Festigkeit. Jede Vergleichung hört auf, so wie eine belastete Säule sich zu biegen beginnt. Im Allgemeinen zeigen harte und spröde Körper die grösste rückwirkende Festigkeit, weil sie der Biegung am besten wiederstehen. So z. B. ist die rückwirkende Festigkeit

des Gusseisens weit grösser als die des Schmiedeeisens, während umgekehrt, letzteres das erstere hinsichtlich seiner absoluten Festigkeit übertrifft.

481. Der Widerstand den die Körper dem Biegen und Zerbrechen entgegensetzen, wird ihre relative Festigkeit genannt. Man denke sich eine prismatische Stange (Fig. 217) in wagerechter Lage, am einen Ende festgehalten, etwa eingeklemmt, am andern belastet, oder wie Fig. 218 an beiden Enden aufliegend und in der Mitte belastet, so kann sie vermöge ihrer relativen Festigkeit ein gewisses Gewicht tragen ohne zu brechen. Stets aber erfolgt eine mit der Grösse der Belastung zunehmende Biegung, nämlich Dehnung an der erhabenen, Zusammendrückung an der hohlen Seite, so dass, wenn man sich die Stange in eine Reihe wagerechter Streifen oder Cohäsionsbänder zerlegt denkt, ein Streifen längs der Mitte der Stange, weder eine Verlängerung noch eine Verkürzung erfährt. Die mittelsten Theile tragen dann das wenigste, die äusseren Streifen oder Cohäsionsbänder, weil sie am meisten angestrengt (gedehnt oder zusammengedrückt) werden, das meiste zum Widerstande bei.

Fig. 217.

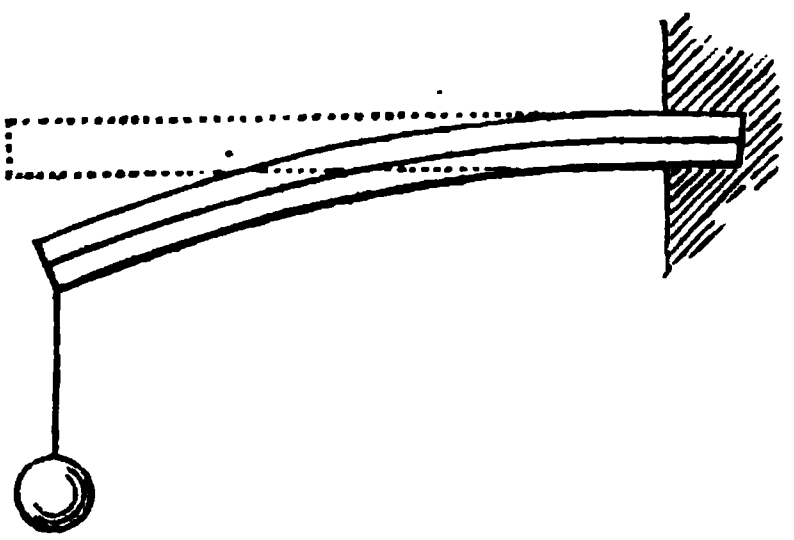
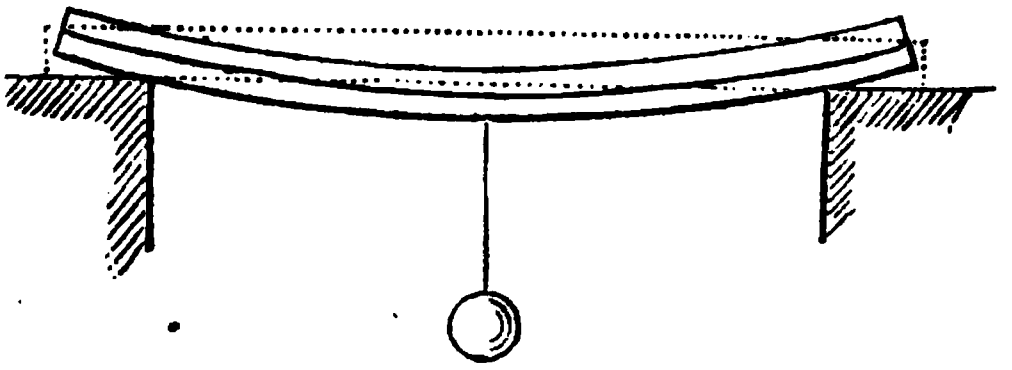


Fig. 218.



Man sieht nun leicht, dass die Biegung nichts anderes ist, als eine Drehung der äusseren Theile der Stange um das mittelste Cohäsionsband, wobei einem jeden anderen von der Mitte entfernten Bande ein Widerstands-Moment zukömmt, dessen Grösse, wenn die elastische Kraft des Stoffes gegeben ist, nur von dem Abstande des betreffenden Bandes von der Mitte, von diesem aber in doppelter Weise abhängig ist. Mit dem Abstande von der Mitte wächst nämlich die Dehnung oder Zusammendrückung, folglich derjenige Theil des elastischen Wiederstandes, welcher in Anspruch genommen ist, zugleich mit dem Hebelsarme, an welchem diese Kraft zum Angriffe kommt. Die Widerstände der aufeinan-

der folgenden Cohäsionsbänder verhalten sich daher wie die Quadrate ihrer Abstände von der Mitte der Stange, und der Widerstand der ganzen Stange gegen das Biegen, ist dem Quadrate ihrer Höhe proportional. Ausserdem wächst dieser Widerstand, wie leicht einzusehen, direkt mit der Breite und umgekehrt mit der Länge der Stange. — Aus der Zunahme des Widerstandes mit dem Quadrate der Höhe erklärt es sich, dass dünne aber hohe Streifen eines Körpers, wenn sie auch im Sinne der Dicke eine grosse Biegsamkeit besitzen, dennoch im Sinne der Höhe ein bedeutendes relatives Tragungsvermögen zeigen können. Auch wird man jetzt verstehen, warum Stäbe und Säulen, die in der Mitte hohl sind, im Verhältniss zu ihrer Masse ein viel grösseres relatives Tragungsvermögen besitzen, als ausgefüllte.

482. Ein Stab der an einem Ende festgeklemmt, am anderen nach der Längenrichtung gedehnt oder zusammengedrückt, oder auch winkelrecht gegen die Längenrichtung gebogen und dann sich selbst überlassen wird, vollendet eine Reihe elastischer Schwingungen (No. 474), bis nach und nach, theils durch äussere Hindernisse, theils durch Reibung der Theilchen im Inneren die Ruhe sich wieder herstellt.

Die elastische Kraft, durch welche hierbei ein beliebiges schwingendes Theilchen beschleunigt wird, verhält sich wie die Grösse des Weges, den es noch zu durchlaufen hat, um in die Lage seines ursprünglichen Gleichgewichtes zurückzukehren. (475.)

Dasselbe gilt für das Schwerependel für den Fall sehr kleiner Schwingungsweiten, und gerade hierauf beruht, wie die Mechanik lehrt, der Isochronismus seiner Schwingungen. Die elastischen Schwingungen müssen daher ebenfalls isochron sein, und zwar für alle Schwingungsweiten innerhalb der Elasticitätsgränze.

Die beschleunigende Kraft, welche in einem beliebigen Augenblicke das schwingende Pendel treibt, wird für den Fall kleiner Schwingungsweiten gefunden, indem man den Ablenkungsbogen mit der Beschleunigung der Schwere multiplicirt. Nun verhalten sich die Abweichungen elastischer Theilchen aus ihrer Ruhelage wie die Dehnungen oder Zusammendrückungen, wodurch diese Abweichungen erhalten worden sind. Die elastischen Kräfte, von welchen die Schwingungen abhängen, sind bei demselben Stoffe den Dehnungen proportional und werden gefunden, indem man die Dehnung für die Einheit der Länge und des Querschnittes mit dem Elasticitäts - Coefficienten multiplizirt; denn dieser bezeichnet die Kraft, durch welche die Längeneinheit verdoppelt, also die Dehnung Eins bewirkt wird. Der Elasticitäts - Coefficient steht demnach zu der Schwingungszeit

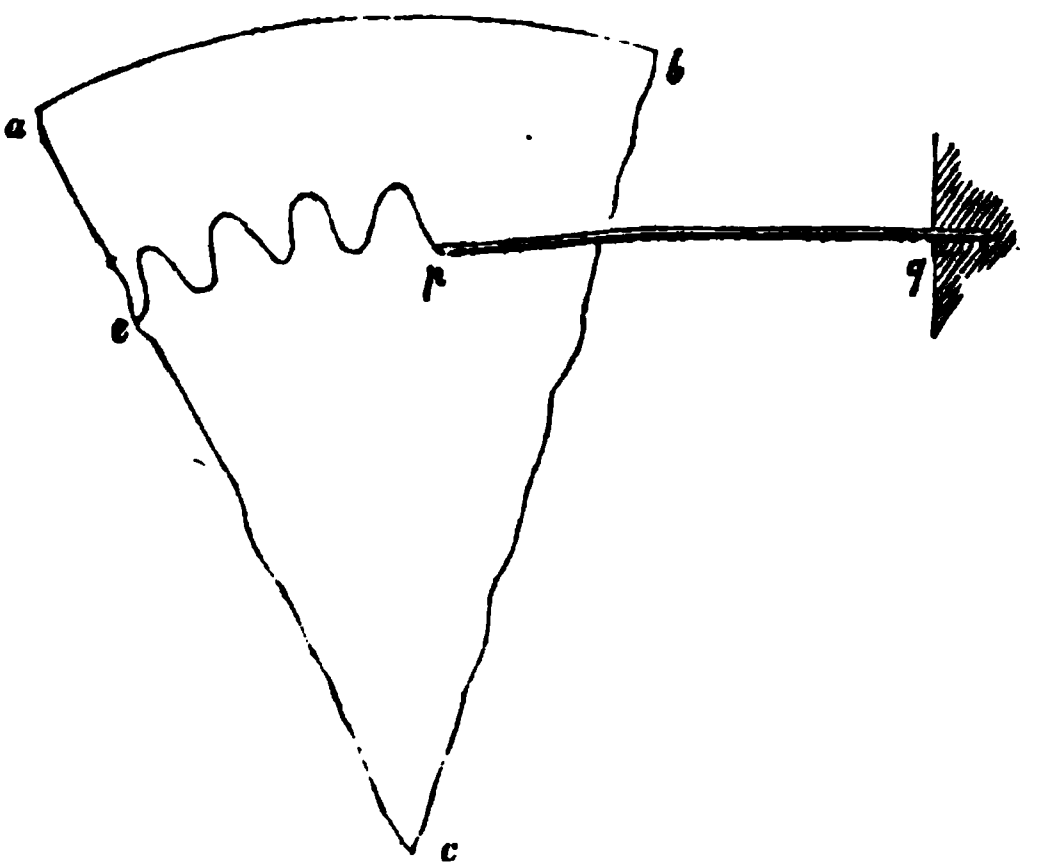
eines elastischen Körpers in einer ähnlichen Beziehung, wie die Beschleunigung der Schwere zur Schwingungszeit des Schwere-Pendels.

Man erkennt hieraus die Möglichkeit aus der beobachteten Schwingungszeit eines elastischen Körpers seine Elasticitäts-Coefficienten abzuleiten.

483. Wenn ein elastischer Stab in der Richtung der Länge erschüttert wird, so nennt man die dadurch entstehenden elastischen Schwingungen: Längenschwingungen (Longitudinalschwingungen). Besteht aber die schwingende Bewegung in einer Ausbiegung, abwechselnd nach der einen und andern Seite, so sind es Querschwingungen (Transversalschwingungen). Man hat beide Schwingungsweisen zur Bestimmung der Elasticitäts-Coefficienten benutzt.

Wertheim ist es gelungen, die Querschwingungen, die ein am einen Ende eingefugter Stab von bekannter Länge und Dicke in einer Sekunde macht, nach einer von Dühamel angegebenen Methode unmittelbar zu zählen*). Eine Glasplatte, die mit einer Schicht Kienruss überzogen ist, wird in gleichförmige rotirende Bewegung gesetzt. Am Ende des schwingenden Stabs ist eine feine Spitze befestigt, die auf der Glasplatte ruht, jedoch ohne einen Druck darauf auszuüben, so dass weder die Schwingungen der Stange noch die rotirende Bewegung der Platte dadurch gestört werden können. Der Stab muss also seine vibrirende Bewegung selbst in die berusste Fläche einzeichnen. Während z. B. die Platte durch den Winkel acb (Fig. 219) fortschreitet, muss der Stab pq die gezackte Linie pe beschreiben, von welcher jede Zacke einer Hin- und einer Herbewegung der Spitze, d. h. einer Schwingung entspricht.

Fig. 219.



Nach Poissons Berechnungen vollendet ein prismatischer Stab, der am einen Ende festgeklemmt, sonst aber ganz frei ist, wenn man ihn durch einen

*) Pogg. Ann. Ergänz. II. 8.

Stoss am andern Ende nöthigt, Transversalschwingungen zu machen, eine Hin- und Herbewegung in der Zeit

$$T = \frac{1}{n} = 0{,}9905 \frac{\Pi l^2}{h} \sqrt{\frac{\delta}{g E}}$$

Für cylindrische Stäbe gilt in ähnlichem Sinne die Gleichung

$$T = \frac{1}{n} = 1{,}1437 \frac{\Pi l^2}{r} \sqrt{\frac{\delta}{g E}}$$

n bedeutet die Anzahl in einer Sekunde vollendeter Schwingungen, l die Länge, h die halbe Höhe oder r den Radius des Stabes, δ das Gewicht der kubischen Einheit des Stoffs, in demselben Gewichtssystem ausgedrückt, worin der Elasticitäts-Coefficient E gefunden werden soll.

So wurde z. B. für einen Eisendraht von 500 Mmtre Länge und 1,5043 Mmtre Radius, dessen spec. Gewicht 7,748 betrug $n = 8{,}146$ gefunden. Diese Werthe in die zweite Formel gesetzt, und mit Berücksichtigung, dass die Beschleunigung der Schwere $g = 9808{,}8$ mmtre, ergab sich für diesen Eisendraht $E = 18670$ Kilogramme.

Auf einem ähnlichen Wege hat Werthheim die Schwingungszeit longitudinal schwingender Stäbe gemessen und daraus mit Hülfe der Gleichung

$$T = \frac{1}{n} = 2l \sqrt{\frac{\delta}{g E}}$$

die Elasticitäts-Coefficienten abgeleitet.

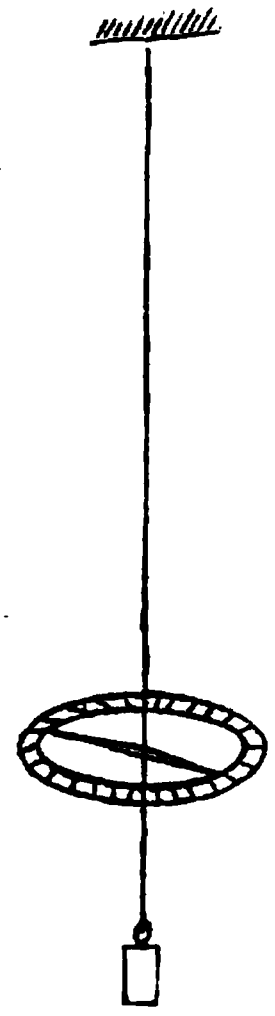
Beide Methoden führten zu sehr übereinstimmenden Zahlen, welche jedoch in den meisten Fällen bedeutend grösser sind, als die für dieselben Stoffe durch Dehnungsversuche gefundenen Werthe. Z. B. für gezogenen Kupferdraiht von 8,729 spec. Gewicht ergab sich aus den Querschwingungen der Elastcitäts-Coefficient 12513 Kilogramm. Aus Längenschwingungen 12536 und aus Dehnungsversuchen 12449.

Werthheim vermuthet, dass die Verschiedenheit darauf beruhe, dass durch den Wechsel der Verdichtung und Ausdehnung in der Masse des Stabs Temperaturveränderungen erzeugt werden, wodurch die Bewegung beschleunigt, also der Elasticitäts-Coefficient scheinbar vergrössert wird.

484. Hat man einen dünnen Draht oder einen Faden am einen Ende befestigt und dreht man denselben am anderen Ende um seine Längenaxe, so müssen sich die Theilchen, aus welchen er gebildet ist, aus ihrer Gleichgewichtslage entfernen. Sie müssen daher auch in diesem Falle einen von ihrer Elasticität abhängigen Widerstand leisten.

Angenommen, der Draht sei durch ein angehängtes Gewicht gerade gespannt; sein unterer Theil sei mit einem Zeiger versehen, der sich so wie in Fig. 220 angedeutet, über einem getheilten Kreise bewegt. Die Kraft welche in dem Abstande 1 von der Längenaxe des Drahts, oder von der Mitte des Kreises, erforderlich ist, um den Zeiger um einen Bogen 1 (den Halbkreis gleich Π gesetzt) aus seiner Ruhelage zu rücken, sei a, so wird eine Kraft $a\varphi$ nöthig sein, um die Ablenkung φ zu bewerkstelligen. Denn von welcher Art auch die Verschiebung sein mag, welche die Theilchen des Drahts durch die Drehung erfahren, so müssen doch die Wege, welche sie dabei zurücklegen, immer der Grösse des Drehungsbogens proportional sein. Folglich

Fig. 220



muss auch die Grösse des elastischen Widerstandes sich wie die Grösse des Drehungsbogens verhalten; so lange wenigstens, als die Gränze der Elasticität nicht überschritten worden ist. Denkt man sich irgend eine andere Kraft, die sich mit dem elastischen Widerstande ins Gleichgewicht gesetzt hat, an der Spitze des Zeigers, an einem Hebelsarme r wirksam, so ist ihre Grösse $K = \frac{a\,\varphi}{r}$.

Die Drehung eines Drahtes gewährt auf diese Weise ein einfaches Mittel, kleine Kräfte zu messen, sobald nur der Werth von a ein für allemal bestimmt ist. Diese Bestimmung lässt sich durch Schwingungsversuche bewerkstelligen.

Sich selbst überlassen muss nämlich der Zeiger eine Reihe von Schwingungen vollenden, welche mit denen des Pendels die grösste Aehnlichkeit besitzen und auch wie diese isochron sind; weil die beschleunigende Kraft, wie vorher gezeigt wurde, in jedem Zeitraume der Bewegung dem Wege, d. i. dem Drehungsbogen proportional ist, welchen der Zeiger bis zum Eintritte in die Ruhelage noch zu beschreiben hat. Für die Schwingungszeit gilt daher die Formel:

$$t = \Pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

sobald nur für g der geeignete Werth eingesetzt wird. In dieser Pendelformel bedeutet g die Beschleunigung für den Weg 1 oder wenn der Weg ein Bogen ist, für den Bogen 1. Die elastische Kraft im Abstande 1 von der Drehaxe, und für den Ablenkungsbogen 1 wurde oben mit a bezeichnet. Die Kraft im Schwingungspunct, dem die Länge l zugehört, ist daher $\frac{a}{l}$. Die in denselben Punct reducirte Masse des schwingenden Systems sei m, so beträgt die gesuchte Beschleunigung für den Weg 1, $g\,\frac{a}{l\,m}$;

$$\text{folglich: } t = \Pi \sqrt{\frac{l.l.m}{g\,a}}$$

$$\text{und dann } a = \frac{\Pi^2\,l^2\,m}{t^2}.$$

$l^2 m$ ist bekanntlich das Trägheitsmoment der schwingenden Masse und kann also aus den Schwingungsversuchen selbst, oder auch durch Rechnung bestimmt werden. Alsdann ergibt sich a aus der beobachteten Schwingungszeit. —

Aus einer Reihe von Schwingungsversuchen hat Coulomb den Beweis gezogen, dass der elastische Widerstand a sich umgekehrt wie die Drahtlänge und direkt wie die 4te Potenz der Drahtdicke verhält, dahingegen von der Grösse des angehängten Gewichtes ganz unabhängig ist*).

Auf die Gesetze der elastischen Rückwirkung bei der Drehung eines Fadens oder Drahts gründet sich ein sehr wichtiges physikalisches Instrument, welches Coulomb ersonnen hat um kleine Kräfte zu messen und welchem er den Namen: die Drehwage beigelegt hat. Dieses Instrument besteht im Wesent-

*) Biot traité I. 482.

lichen aus einem dünnen Metall- oder Glasfaden, dessen oberes Ende befestigt und dessen unteres Ende durch Gewichte gespannt ist und eine wagerechte Nadel trägt. Soll nun eine kleine Kraft gemessen werden, so lässt man sie in geeigneter Weise auf die Spitze der Nadel einwirken und misst den Winkel, um welchen die Nadel, durch Abstossung oder Anziehung aus der Ruhelage abgelenkt wird; oder man untersucht, um wie viel Grade das obere Ende des Drahts gedreht werden muss, um die Nadel in die Ruhelage, aus welcher sie durch die Einwirkung der Nadel entfernt wurde, wieder zurückzuführen. Das obere Ende des Drahts muss desshalb ebenfalls mit einem Zeiger versehen sein, der auf einer in Grade getheilten Scheibe mit Reibung beweglich ist. Zum Schutze vor dem Luftzuge pflegt man Draht und Zeiger mit einem Gehäuse von Glas zu umschliessen.

Coulomb*) hat die Drehwage hauptsächlich zu electrometrischen Studien benutzt. Auch nach ihm ist sie wiederholt zu diesem Zwecke gebraucht worden In der neuesten Zeit vorzugsweise von Peter Riess**), in dessen Abhandlung zugleich eine ausführliche Beschreibung der von ihm gebrauchten Drehwage enthalten ist.

Auch das von Kohlrausch verbesserte, oder eigentlich erst zum Range eines Messinstruments erhobene Dellmann'sche Electrometer, ist eine Drehwage***).

Cavendish hat mittelst der Drehwage die wechselseitige Anziehung der Erdkörper nachgewiesen†), und daraus die mittlere Dichtigkeit der Erde abgeleitet. Nach ihm beträgt dieselbe 5,5; oder das mittlere Gewicht der Erde ist 5,5 mal so gross, als das eines gleichen Volums Wasser. Diese Versuche sind in neuerer Zeit von Reich††) und von Baily†††) mit wenig verschiedenem Erfolge wiederholt worden.

Stoss elastischer Körper.

485. Lässt man eine weiche Masse, z. B. eine Kugel von feuchtem Thon gegen eine harte und unbewegliche Fläche stossen, so wird erstere abgeplattet oder ihr Durchmesser in der Richtung der Bewegung verkürzt.

Dieses Verhalten beruht darauf, dass die hintereinander liegenden Schichten, welche die Masse des bewegten Körpers zusammensetzen, nicht gleichzeitig, sondern nur folgeweise zur Ruhe kommen können, wodurch eine Zusammendrückung im Sinne der Bewegung eintreten muss.

Dieselbe Ursache hat eine gleiche Wirkung auch bei elastischen Körpern zur Folge. Nur ist sie, so lange die Gränze der Elasticität nicht überschritten wurde, vorübergehend, und darum nicht so unmittelbar in die Sinne fallend. In einigen Fällen lässt sich die Abplattung auch bei elastischen Körpern fühlbar machen.

---

*) Biot traité II. 224.
**) Pogg. Ann. LXXI. 359.
***) Pogg. Ann. LXXII. 353. LXXIV. 499.
†) Phil. Transactions. 1798.
††) Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage (Freiberg 1838).
†††) Pogg. Ann. LVII. 453.

Lässt man z. B. eine Elfenbeinkugel auf eine mit Russ geschwärzte Marmorplatte aus 2 — 3 Fuss Höhe erabfallen, so zeigt sich an dem Auffallspuncte ein schwarzer Fleck von weit grösserem Umfange als nachher durch die blosse Berührung der Kugel mit der geschwärzten Fläche erhalten werden kann.

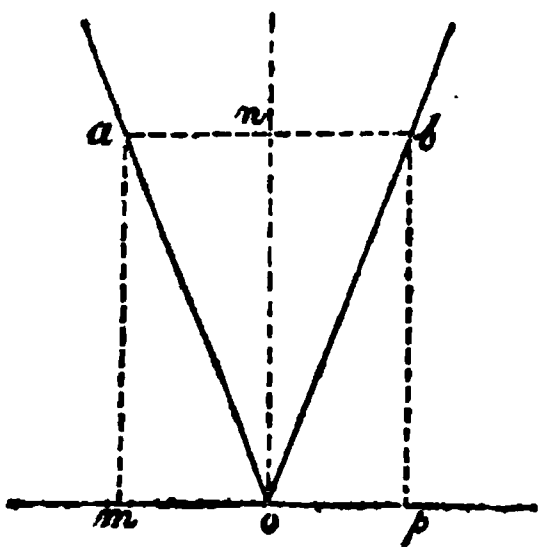
Der Druck welchen demzufolge die noch in Bewegung befindlichen Theile gegen diejenigen ausüben, deren Bewegung bereits erloschen ist, hört auf, wenn endlich alle zur Ruhe gekommen sind. Der zusammengedrückte elastische Körper beginnt aber nun sich wieder auszudehnen; stufenweise stellt sich die frühere Gestalt wieder her, und mit ihr, nur in entgegengesetztem Sinne, die frühere Geschwindigkeit. So kommt es, dass elastische Körper von Wandflächen, welche der Fortbewegung einen hinlänglich grossen Widerstand bieten, abprallen, während weiche Körper nur zusammengedrückt werden und dabei ihre Bewegung einbüssen.

486. Eine Elfenbeinkugel die auf einer dicken und grossen Marmorplatte senkrecht aufschlägt, wird fast zu derselben Höhe zurückgeworfen, von welcher sie herabgefallen war, woraus man sieht, dass sie die anfängliche Geschwindigkeit fast vollständig wieder gewonnen hatte.

Befindet sich die Kugel vor dem Stosse in Ruhe, hängt sie z. B. an einem Faden, und setzt man die Platte in Bewegung, so wird erstere durch den Stoss der letzteren mit der doppelten Geschwindigkeit fortgeschleudert. Denn die einfache Geschwindigkeit der Platte würde die Kugel auch ohne Mitwirkung der Elasticität haben annehmen müssen. Da sie aber zugleich zusammengedrückt wird, wie wenn sie selbst auf die Platte gefallen und diese dabei ruhend geblieben wäre, so muss sie dieselbe Geschwindigkeit in Folge der elastischen Rückwirkung noch einmal gewinnen, also sich mit der doppelten Geschwindigkeit fortbewegen.

Wenn die Stosslinie *a o* (Fig. 221) mit der über dem Einfallspuncte *o* errichteten Senkrechten *o n* einen Winkel bildet, so wird die Kugel in der Richtung *o b* zurückgeworfen, so dass die drei Linien *o a*, *o n* und *o b* in einer und derselben Ebne liegen und dass der Winkel *b o n*, der Zurückwerfungswinkel, gleich ist dem Winkel *a o n*, dem Einfallswinkel. Denn man kann sich in diesem Falle die Bewegungsgrösse der aufschlagenden Kugel, nach dem Gesetze des Parallelogramms der Kräfte, aus zwei Bewe-

Fig. 221.



gungsgrössen nach den Linien no und mo zusammengesetzt denken. Von diesen kann durch den Stoss nur die senkrechte no zernichtet und dann in entgegengesetztem Sinne wiedergegeben werden; während die mit der Einfallsebne gleichlaufende mo unverändert bleibt. Nach dem Stosse müssen sich daher die Bewegungen mo oder op und on zu der Bewegungsgrösse ob zusammensetzen.

487. Stossen zwei Körpermassen m und m' mit den Geschwindigkeiten v und v' zusammen, so sollten sie nach No. 118 die gemeinschaftliche Geschwindigkeit $V = \frac{m\,v \pm m'\,v'}{m + m'}$ annehmen. Diess ist jedoch bei elastischen Massen nur einen Augenblick der Fall. Denn durch den Stoss haben sich beide wechselsweise zusammengedrückt. Sie streben daher sich wieder auszudehnen, und da jede beziehungsweise zur andern als harter (nicht weiter zusammendrückbarer) Widerstand erscheint, so lässt sich einsehen, dass jede die Bewegung, welche sie verloren oder gewonnen hatte, durch die elastische Rückwirkung noch einmal verlieren oder gewinnen muss. War die Geschwindigkeit vor dem Stosse v, so wird sie also nach dem Stosse $v + 2\,(V - v) = 2\,V - v$ betragen müssen.

Beim Gebrauche dieser Formel darf man nicht unbeachtet lassen, dass v in Beziehung zu V positive und negative Bedeutung haben kann.

Beispiel: Zwei Kugeln von gleicher Grösse und Geschwindigkeit stossen wider einander; so findet man $V = o$ daher $2\,V - v = -v$. D. h. beide Kugeln prallen von einander ab und kehren, jede mit der früheren Geschwindigkeit zurück.

Angenommen, die Geschwindigkeiten beider gleich grossen Kugeln seien verschieden, so wird $V = \frac{v \pm v'}{2}$.

Daher $2\,V - v = v \pm v' - v = \pm v'$.

D. h. die Kugeln kehren nach dem Zusammenstosse mit verwechselter Geschwindigkeit zurück.

Ist die Geschwindigkeit der einen Kugel $v' = o$ so wird $V = \frac{v}{2}$;

Daher für die eine Kugel $2\,V - v = v - v = o$
und für die andere $2\,V - o = v$.
D. h. die ruhende Kugel bewegt sich mit der Geschwindigkeit der stossenden fort, während letztere ihre Bewegung einbüsst.

Denkt man sich eine Reihe von Kugeln hintereinander an Fäden so aufgehängt, dass sie sich berühren. Hebt man die vorderste und lässt sie dann wieder frei, so überträgt sie die gewonnene Geschwindigkeit durch den Stoss auf die zweite, diese eben so auf die dritte, u. s. w. bis endlich nur die letzte, welche die erhaltene Bewegung nicht weiter übertragen kann, fortfliegt. Hebt man die zwei oder drei vordersten Kugeln und lässt sie wieder fallen, so werden die zwei oder drei letzten der Reihe fortgeschleudert. Der Grund liegt darin, weil die zweite und dritte der gehobenen Kugeln beim Herabfallen sich nothwendig gegen die erste

etwas verspäten müssen, daher jede ihren Stoss erst ausübt nachdem die vorhergehende schon wieder zur Ruhe gekommen war.

Die Summe der Bewegungsgrössen zweier Körper vor und nach dem Stosse, bleibt, wie schon früher gezeigt wurde (118), unverändert. Aber auch die Summen der lebendigen Kräfte vor und nachher müssen gleich geblieben sein, weil der ganze durch den Stoss herbeigeführte Verlust, durch die elastische Rückwirkung vollständig wieder gewonnen wird.

Fortpflanzung der Bewegung in einem gleichartig elastischen Mittel; Wellenbewegung.

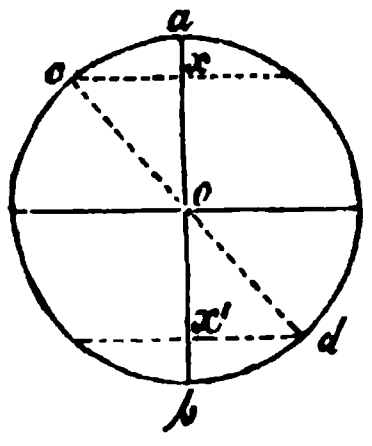
488 Alle Schwingungserscheinungen elastischer Körper, von welchen bisher die Rede war, gleichen sich darin, dass die zusammenschwingenden Theilchen sich immer gleichzeitig in gleichen Schwingungsphasen befinden, nämlich gleichzeitig sich zu bewegen beginnen, gleichzeitig, jedes mit seiner grössten Schwingungsgeschwindigkeit die Gleichgewichtslage durchschreiten, gleichzeitig die äusserste Gränze ihrer Ausweichungen erreichen u. s. f. Man nennt sie vorzugsweise **stehende Schwingungen**.

Wenn durch äussere Einwirkung, durch den Stoss, zunächst auch nur eine einzige Stelle einer elastischen Masse getroffen wird, so pflanzt sich die hierdurch bewirkte Bewegung der gestossenen Theile gleichwohl nach und nach durch die ganze Masse fort. Denn vermöge den zwischen den Theilchen thätigen Kräfte kann keines derselben aus der Ruhelage treten, ohne alle andern allmählig mit in die Bewegung zu ziehen. Hierdurch entstehen die **fortschreitenden Schwingungen**, die übrigens gleich wie die stehenden, longitudinale oder transversale sein können. Das Fortschreiten von Längenschwingungen beruht stets auf einer Fortpflanzung von Verdichtung und Ausdehnung in der Masse des elastischen Mittels; ähnlich wie der auf eine Elfenbeinkugel ausgeübte Stoss, durch eine ganze Reihe von Kugeln fortgepflanzt wird. Fortschreitende Querschwingungen dagegen bestehen ähnlich der Wellenbewegung des Wassers, wesentlich nur in einer fortschreitendeu Verschiebung der Theilchen. Ist die Verschiebung von einer Verdichtung begleitet, so entstehen Quer- und Längen-Schwingungen, die sich unabhängig von einander und mit ungleichen Geschwindigkeiten fortpflanzen.

489. Schwingende elastische Theilchen aller Art haben bei vollkommener Elasticität des Mittels das mit einander gemein, dass die sie beschleunigenden oder verzögernden elastischen Kräfte, in jedem Augenblickeder Bewegung, dem Abstande von der Gleichgewichtslage proportional sind (No. 475). Nimmt man

z. B. ab (Fig. 222) als Spielraum der Hin- und Herbewegung eines Theilchens; den Mittelpunkt o als Gleichgewichtslage; α als Grösse der bewegenden Kraft für den Abstand 1, und setzt $ao = ob = r$, $ox = ox' = x$; so ist $r\alpha$ die Kraft, wenn das Theilchen sich in a oder b, an den Puncten seiner grössten Schwingungswelte befindet. Von dieser Kraft ist ihm bei der Ankunft in x oder x' noch αx geblieben. Das Theilchen hat also den Weg $ax = bx' = r - x$ unter dem Triebe einer mittleren Beschleunigung $g\,\frac{\alpha(r+x)}{2m}$ zurückgelegt, wenn m seine Gewichtsmasse vorstellt. Seine Geschwindigkeit im Augenblicke der Ankunft in x oder x' ist demnach

Fig. 222.



$$v = \sqrt{2g\frac{\alpha(r+x)}{2m}(r-x)} = \sqrt{\frac{g\alpha}{m}(r^2-x^2)}$$

Man ziehe um o als Mittelpunct und mit dem Halbmesser $oa = r$ einen Kreis und setze Winkel $coa = \varphi$ so ist $ox = r\,cos.\varphi$;

$r^2 - x^2 = r^2(1 - cos.^2\varphi) = r^2 sin.^2\varphi$ folglich:

$$v = r\,sin.\,\varphi\sqrt{\frac{g\alpha}{m}}$$

Betrachtet man einen beliebigen Abstand des schwingenden Theilchens von seiner Gleichgewichtslage als Cosinus eines Kreisbogens, der um den Punct des Gleichgewichtes als Mittelpunct, mit der grössten Schwingungswelte als Radius gezogen ist, so ist die während der Bewegung bis zu diesem Abstande gewonnene Geschwindigkeit, dem Sinusse jenes Bogens proportional.

Für Bogen $\varphi = \frac{\Pi}{2} = 90°$ ist $x = o$ und $v = r\sqrt{\frac{g\alpha}{m}} = rA$;

rA bezeichnet die grösste Schwingungsgeschwindigkeit des Theilchens. Sie wird im Augenblicke der Ankunft in o erlangt. Für jede andere Lage, deren Entfernung von 0 beträgt: $r\,cos.\varphi$ ist $v = rA\,sin.\varphi$ *).

---

*) Da das Theilchen bei der Ankunft in x die Geschwindigkeit v besitzt, so muss es in dem nächstfolgenden Zeittheilchen dt den Weg $-dx = rdt$ (1) zurücklegen. dx ist hier mit dem negativen Zeichen behaftet, da es eine Verminderung der Wegeslänge x ausdrücken soll. Nun ist x gleich $r\,cos.\varphi$ daher $dx = -r\,sin.\varphi\,d\varphi$. Setzt man diesen Werth von dx in die Gleichung (1) und eben so statt v den oben gefundenen Werth, so wird

$$r\,sin.\,\varphi\,d\varphi = r\,sin.\,\varphi\,A\,dt$$

folglich $d\varphi = Adt$ und $\varphi = At +$ Const.

Da nun für $\varphi = o$ auch t gleich o wird; so verschwindet die Constante und man erhält, wenn für den Bogen φ der Halbkreis Π genommen wird: $\Pi = At$. D. h. die Zeit t einer Hin- oder Herbewegung ist gleich dem Peripherieverhältnisse dividirt durch die beständige Grösse $A = \sqrt{\frac{g\alpha}{m}}$.

Diese Entwicklung lehrt, dass die Gleichdauer elastischer Schwingungen sich als eine nothwendige Folge des elastischen Grundgesetzes ergibt. Sie gilt aber nicht blos für elastische Schwingungen, sondern für Hin- und Herbewegungen jeder Art, bei welchen, wie bei elastischen Schwingungen die Triebkräfte fortdauernd den noch zu beschreibenden Wegen proportional sind.

Z. B. für kleine Schwingungen des Schwerependels verhält sich die bewegende Kraft wie das Gewicht m der Pendelmasse multiplicirt mit dem Quotienten des

Indem die Bögen von 0 bis 90° in arithmetischem Verhältnisse zunehmen, wachsen die Geschwindigkeiten wie die Sinusse der Bögen. Im zweiten Quadranten ist die Geschwindigkeit abnehmend Im dritten, nämlich für die erste Hälfte der Bewegungsbahn des zurückkehrenden Theilchens wieder beschleunigend, im vierten Quadranten verzögernd. — Wenn man die ebenfalls in arithmetischem Verhältnisse zunehmende Zeit (T) einer ganzen Hin- und Herbewegung mit einer ganzen Kreisumdrehung vergleicht, und sie demgemäss mit $2\,\Pi$, nämlich dem Kreisumfange für den Halbmesser 1 bezeichnet, so stellt der Bogen φ eine Zeit t vor, während welcher das schwingende Theilchen den Weg $r - x$ beschreibt.

Es ist daher: $t : T = \varphi : 2\,\Pi$ und $\varphi = 2\,\Pi \frac{t}{T}$

Wenn für einen beliebigen Augenblick die Ausweichung eines schwingenden Theilchens beträgt:

$$x = r\ cos.\ (2\,\Pi \frac{t}{T}),\quad (I)$$

so ist die diesem Standpunkte zugehörige Geschwindigkeit:

$$v = r\,A\ sin.\ (2\,\Pi \frac{t}{T}).\quad (II)$$

Aus diesem Grunde kann man sagen: Die Schwingungsgeschwindigkeit eines elastischen Theilchens verhält sich wie der Sinus der verflossenen Schwingungszeit; die ganze Schwingungszeit (Zeit einer Hin- und Herbewegung) als Kreisumfang gedacht.

490. Jeder beliebige Zeitbogen $\varphi = 2\,\Pi \frac{t}{T}$ heisst eine Schwingungsphase. Die Ausweichungen des schwingenden Theilchens verhalten sich wie die Cosinusse, die Geschwindigkeiten wie die Sinusse der Schwingungsphasen.

Wenn das Theilchen eine Reihe Schwingungen hintereinander vollendet und die Zeit t vom Beginne der ersten gezählt wird; so drückt $\frac{t}{T}$ die Anzahl derselben aus; $2\,\Pi \frac{t}{T}$ aber bezeichnet die Phase, welche sich jedesmal in der Zeit T einer Hin- und Herbewegung wiederholt.

Phasen, die immer um eine ganze Anzahl Schwingungszeiten τ oder Kreisumfänge $2\,\Pi$ verschieden sind, nennt man gleiche Phasen, weil sie gleichen Richtungen der Bewegung so wie gleichen Ausweichungen und Geschwindigkeiten des schwingenden Theilchens entsprechen. Die Phasen $2\,\Pi\frac{t}{T}$ und $2\,\Pi \frac{t + m\,T}{T}$ sind einander gleich, wenn m eine ganze Zahl bedeutet.

Phasen wie c und d (Fig. 222), welche um einen halben Kreisumfang oder um eine ungerade Anzahl halber Umfänge verschieden sind, werden entgegengesetzte genannt. So sind die Phasen $2\,\Pi \frac{t}{T}$ und $2\,\Pi \frac{t \pm (m+\frac{1}{2})T}{T}$ entgegengesetzte, weil sie für gleiche Ausweichungen und Geschwindigkeiten

---

Schwingungsbogens durch die Pendellänge. Daher für Bogen 1 ist $a = m \frac{1}{l}$ und $A = \sqrt{\frac{g}{l}}$ somit die Schwingungszeit $t = \Pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

des Theilchens, entgegengesetzten Richtungen der Bewegung entsprechen. (Schwerd, die Beugungserscheinungen etc. Einleitung.)

Die vorstehenden Sätze und Betrachtungsweisen gestatten eine häufige Anwendung. Hauptsächlich aber sind sie von Wichtigkeit für das Studium der fortschreitenden Schwingungen oder der Wellenbewegungen, von welchen wir jetzt einige der wichtigsten Fälle ausführlicher untersuchen wollen; und zwar zunächst vorzugsweise von dem theoretischen Gesichtspuncte aus, von dem aus sie sich als unmittelbare und nothwendige Folge der allgemeinen elastischen Grundgesetze ergeben. Man wird daraus die Erkenntniss schöpfen, dass die Kräfte, welche die kleinsten Theilchen der Körper beherrschen, in einer so höchst merkwürdigen Wechselwirkung stehen, dass die Bewegung auch nicht eines einzigen materiellen Punctes möglich ist, ohne dass nicht stufenweise seine weiteste Umgebung genöthigt wird, daran Antheil zu nehmen.

491. Wellen durch Biegung gespannter fadenförmiger Körper. — Man weiss, dass wenn ein beliebiger Punct einer gespannten Schnur rasch einen Stoss erhält, die dadurch anfangs nur an der gestossenen Stelle bewirkte Ausbiegung sich nach beiden Seiten hin fortpflanzt und an entfernteren Puncten noch beobachtet werden kann, während die gestossene Stelle schon wieder zur Ruhe zurückgekehrt ist.

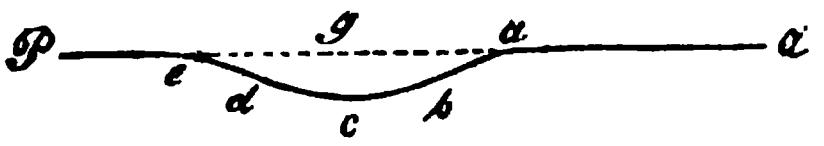
Wird der Versuch mit einem wenigstens 50 Fuss langen und ⅓ Zoll dicken, nicht stark gespannten Seile angestellt (Wellenlehre der Gebrüder Weber S. 443) so lässt sich die Erscheinung leicht mit dem Auge verfolgen. Man sieht dann die an einem Ende hervorgebrachte Ausbiegung in bestimmt begränzter Länge nach dem andern Ende fortlaufen, von dort in umgekehrter Lage, (z. B. die Erhabenheit der Biegung nach unten gewendet, wenn sie vorher oben war) zurückkehren und so mehrmals den Weg, dem Seile entlang beschreiben, bis endlich durch äussere Hindernisse und Reibung der Theilchen aneinander der Trieb der Bewegung erschöpft wird. Diese hin und her laufende Ausbiegung wird eine Welle genannt und die Länge des ausgebogenen Stückes ihre Länge.

Bei mässiger Spannung des Seils ist leicht wahrzunehmen, dass die Länge der Welle nicht von der Stärke der Ausbiegung, sondern von der Zeit des Stosses abhängt. Je kürzer die Zeit, in welcher einem Theile des Seils die transversale Geschwindigkeit eingeprägt wurde, um so kürzer ist die fortlaufende Welle. Erregt man in rascher Folge mehrere Wellen, immer an derselben Stelle, so laufen sie hinter einander her, ohne dass, auch bei ungleicher Stärke der Ausbiegung und selbst ungleicher Länge, eine die andere stört. Man erkennt hieraus, dass die Geschwindigkeit des Fortschreitens der Seilwellen weder von ihrer Stärke noch von ihrer Länge abhängig ist. Dagegen vermindert sich die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit der Welle bei zunehmendem Gewichte der Seile, und wächst bei zunehmender Spannung, so dass bei stark gespannten Schnüren und Saiten die Beobachtung für das

Auge mehr und mehr unsicher wird. Was jedoch dem Versuche an Deutlichkeit entgeht, lässt sich mit Berücksichtigung der allgemeinen elastischen Gesetze durch Betrachtungen und durch Rechnung ergänzen.

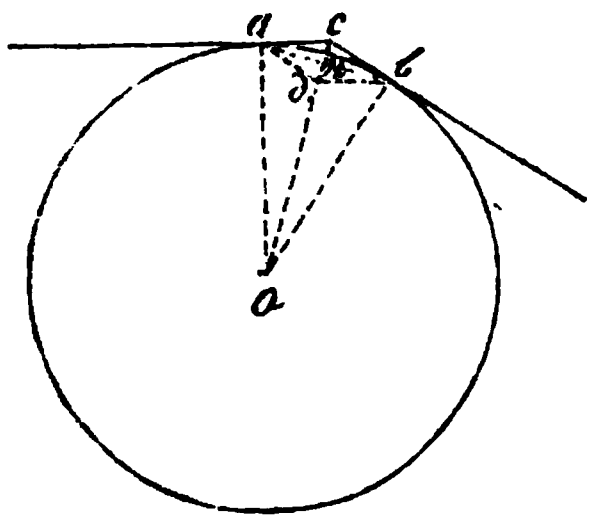
Die Linie PQ (Fig. 223) bedeute einen durch das Gewicht P gespannten Faden, $a\,b\,c\,d\,e$ die daran von P nach Q laufende Welle; c den tiefsten Punct der Biegung. Alle zwischen e und c befindliche Theilchen sind im Begriffe sich zu heben und, in der Lage cg angekommen, zur bleibenden Ruhe zurückzukehren, alle zwischen c und a liegende Theilchen senken sich, so dass jedes nach und nach dieselbe Senkung wie das Theilchen c annehmen wird. — Denkt man sich den Faden vollkommen biegsam, so kann die Bewegung der aus der geraden Linie PQ entfernten Theilchen nur darauf beruhen, dass jedes derselben den Scheitelpunkt eines Winkels darstellt, welchen die Tangenten der beiden dasselbe einschliessenden Puncte der Biegung mit einander bilden.

Fig. 223.



Seien a und b zwei, ein beliebiges Theilchen c der Wellenbiegung (Fig. 224) zunächst begränzende Puncte; ac und bc die Tangenten der Puncte a und b, deren Richtungen in c zusammenstossend, den Winkel acb bilden; so muss vermöge der Spannung der Saite in der Richtung dieser Linien, ein mittlerer Druck gegen den Mittelpunkt o der Krümmung entstehen, dessen Grösse auf folgende Weise bestimmt werden kann. Der von c gegen a so wie von c gegen b ausgeübte Zug ist gleich der Spannung des Fadens, gleich P. Die resultirende Kraft K verhält sich daher zu P wie $cd : ac$. Man ziehe an rechtwinklig auf cd; man hat dann Dreieck acn ähnlich dem Dreiecke aco, weil beide rechtwinklige Dreiecke den Winkel acn gemeinschaftlich haben. Es ist daher $oc : ac = ac : \frac{1}{2}cd$; folglich auch $ac : oc = \frac{1}{2}K : P$ und da $oc = r$, die gesuchte Kraft $K = 2.ac\,\frac{P}{r}$. Der Werth ac, d. i. der Abstand der dem Puncte c zunächst liegenden Theilchen der Biegung ist unveränderlich. K wächst folglich mit der Spannung und umgekehrt wie der Krümmungshalbmesser.

Fig. 224.

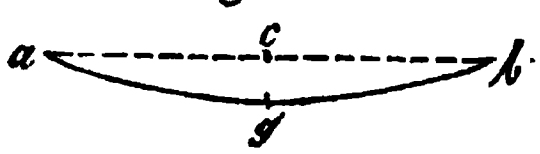


Aus dem Vorgange der Wellenbildung und aus der Weise ihres Fortschreitens ist man zu schliessen berechtigt, dass die Krümmung der Wellenlinie in der Nähe der Endpuncte a und e und in der Mitte c am stärksten ist, dass sie sich gegen die Puncte b und d hin, deren Lage $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ der Wellenlänge entspricht, vermindert und an diesen Punkten selbst verschwindet. Man muss desshalb vier Abtheilungen der Wellenbiegung unterscheiden, deren jede gleich $\frac{1}{4}$ der Wellenlänge. Der vorderste Theil $a\,b$ kehrt seine Convexität gegen die Ruhelage des Fadens, die beiden folgenden Theile bc und cd ihre Concavität, der hinterste Theil wieder seine Convexität. Daraus erkennt man nun zunächst, warum der Vordertheil ein Bestreben sich zu senken allmählig von a nach Q hin fortpflanzen muss, denn bei allen Theilchen zwischen a und b äussert sich ein Druck, je gegen den Mittelpunkt ihrer Krümmung, d. h., mässige Biegung vorausgesetzt, fast senkrecht abwärts. Die hieraus entspringende Bewegung kann aber nicht eintreten, ohne dass die folgenden noch ruhenden Theilchen des Fadens ebenfalls eine Biegung erleiden.

Es ist einleuchtend, dass während des Fortschreitens der Welle ein jedes Theilchen des Fadens nach und nach alle Lagen annehmen muss, die durch das Bogenstück *a b* bezeichnet sind. Das betreffende Theilchen ist folglich in allen diesen Lagen einer beschleunigenden Kraft ausgesetzt, wodurch es sich mit zunehmender Geschwindigkeit senken muss. Diese Geschwindigkeit hat bei *b*, wo die Krümmung eine kurze Strecke aufhört um dann in die entgegengesetzte überzugehen, ein Maximum erreicht. Während dann das Theilchen die verschiedenen durch das Bogenstück *b c* bezeichneten Lagen annimmt, ist es der Einwirkung verzögernder Kräfte ausgesetzt. Die Bewegung dauert zwar im früheren Sinne fort, aber die Geschwindigkeit mindert sich wieder und ist in dem Augenblicke, da das Theilchen die Stellung *c* erreicht hat, völlig erloschen. In dieser Lage der stärksten Biegung ist eine dauernde Ruhe unmöglich. Das Theilchen wird vermöge der Beschaffenheit der Krümmung alsbald wieder aufwärts getrieben, gewinnt bei der Ankunft in der Höhe *d* zum zweitenmal ein Maximum der Geschwindigkeit, wird dann im letzten Viertel seiner Bahn wieder verzögert und gelangt endlich bei der Ankunft in *e* zur bleibenden Ruhe. Ein beliebiges Theilchen *a* des Fadens beschreibt also in der Zeit, während die Welle an ihm vorüberschreitet und indem es nach und nach alle durch die Wellenbiegung bezeichneten Lagen annimmt, einen gegen die Linie *PQ* senkrechten Weg *g c* einmal hin und einmal her. Es ist, während es diese Schwingungen vollendet, einer veränderlichen Kraft unterworfen, welche sich nach elastischen Gesetzen wie der jedesmalige Weg verhält, den es beschleunigt oder verzögert noch zurückzulegen hat.

Die Ausbiegung einer gespannten Saite bedingt zwar stets eine Dehnung und dadurch eine Vermehrung der Spannung. Setzt man jedoch die grösste Senkung als sehr klein gegen die Länge *a b* voraus, so ist die Zunahme der Spannung so gering, dass man ohne einen merklichen Fehler zu begehen, die Spannung an allen Punkten der Biegung als gleich und gleich *P* betrachten darf.

Fig. 225.



Wenn ein an einer gespannten Saite *a b* (Fig. 225) angehängtes Gewicht *K* die Senkung *c g* bewirkt, so verhält sich nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte:

$$K : P = 2 \,.\, cg : gb;$$

wenn man dann ferner mit Rücksicht auf die als sehr gering angenommene Biegung setzt: $gb = cb$, so wird

$$K : P = 2 \,.\, cg : cb; \text{ also } K = \frac{2 \,.\, cg \,.\, P}{c\,b}$$

D. h. bei einem und demselben Faden oder bei immer gleicher Länge der Biegung steht die biegende Kraft *K* im zusammengesetzten Verhältnisse der Spannung und der Senkungstiefe oder des Pfeils.

Durch Entfernung von *K* würde die Saite sogleich aufwärts schnellen. *K* steht folglich im Gleichgewichte mit allen über die Saite verbreiteten senkrecht aufwärts wirkenden Kräften. Man kann eine jede der 4 Abtheilungen der Wellenbiegung *a b c d e* (Fig. 223) der Hälfte einer gebogenen Saite vergleichen, deren ganze Länge gleich der halben Wellenlänge Die Summe der über eine Abtheilung, z. B. über das vorderste Stück *a b* der Welle, in irgend einem Augenblicke vertheilten senkrechten Kräfte lässt sich daher einem Gewichte

$$K = \frac{2 \cdot \frac{cg}{2} \cdot P}{l/_2} = \frac{2 \,.\, cg \,.\, P}{l}$$

gleichsetzen, wenn man mit *l* die Hälfte einer Wellenlänge bezeichnet.

Es sei *t* die Zeit, in welcher die Bewegung an einem beliebig langen, gespannten Faden *P Q* um *a b*, d. h. um ein Viertel Wellenlänge fortrückt. Man

denke sich ab in n kleine, ganz gleiche Abschnitte zerlegt, so ist $\frac{t}{n}$ die Zeit, in welcher irgend ein Theilchen $\frac{ab}{n}$ seine Beschleunigung auf das vor ihm liegende Theilchen überträgt und dafür die des folgenden übernimmt. Ein Theilchen bei a, welches eben in die Welle eintritt, muss daher in der Zeit t stufenweise durch alle die senkrechten Kräfte getrieben werden, welche gleichzeitig das Bogenstück ab beleben und deren Summe gleich K ist, und zwar von jeder derselben während eines Zeittheilchens $\frac{t}{n}$. Die bei der Ankunft in b gewonnene Geschwindigkeit muss daher genau so gross sein, als wäre die Masse $\frac{ab}{n}$ des Theilchens, nur während eines einzigen Zeitabschnittes $\frac{t}{n}$, jedoch durch die ganze Kraft K getrieben worden. Die grösste Schwingungsgeschwindigkeit ist daher (112);

$$c = g\frac{K}{ab/n}\cdot\frac{t}{n} = g\frac{K.t}{ab};$$

oder indem man die Masse $ab = \frac{l}{2}.f.s$ und für K den oben gefundenen Werth setzt:

$$c = g\frac{4.cg.P}{l.l.f.s}t.$$

f bedeutet hier die Querschnittsfläche und s das Gewicht der Kubikeinheit der Saite.

Nun ist aber auch, indem man beachtet, dass die mittlere beschleunigende Kraft eines jeden Theilchens

$$\frac{K}{ab} = \frac{2.2.cg.P}{l.l.f.s}$$

beträgt, nach bekannten Gesetzen (No. 112) die Schwingungsgeschwindigkeit:

$$c = \sqrt{2g\frac{2.2.\overline{cg.P}}{l.l.f.s}\frac{cg}{2}} = \frac{2.cg}{l}\sqrt{\frac{g.P}{fs}};$$

Daher indem beide Werthe von c einander gleich gesetzt werden, nach den erforderlichen Reductionen:

Die Zeit, in welcher eine Querwelle um ein Viertheil ihrer Länge fortschreitet:

$$t = \frac{l}{2}\sqrt{\frac{f.s}{g.P}};$$

Die Zeit T der ganzen Schwingung des Theilchens, oder die Zeit, in welcher die Welle um eine ganze Wellenlänge fortrückt, ist viermal so gross. Also

$$T = 2l\sqrt{\frac{f.s}{g.P}}$$

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Welle an einem biegsamen Faden fortschreitet ergibt sich hiernach:

$$v = \frac{2l}{T} = \sqrt{\frac{g.P}{f.s.}}$$

D. h. sie verhält sich direkt wie die Wurzel aus der Kraft $\frac{P}{f}$ durch welche die Einheit der Querschnittsfläche einer Seite gespannt ist, und umgekehrt, wie die Wurzel aus der Dichtigkeit des Stoffes.

Die Gebrüder Weber haben die Richtigkeit dieses Gesetzes, zu welchem Euler durch theoretische Untersuchungen gekommen war, durch Versuche an einer gespannten Schnur geprüft. (Wellenlehre S. 460). Die Schnur wurde in einem bestimmten Augenblicke mit dem Finger gestossen; dann mass man mit Hülfe einer Tertienuhr die Zeit, welche die erzeugte Welle bedurfte, um 1 bis 4 mal zu ihrem Ausgangspuncte zurückzukehren, d. h. die Länge der Schnur 1 bis 4 mal hin und her zu laufen. Zunächst zeigte sich, dass diese Zeit bei Wellen von ungleicher Grösse immer dieselbe blieb, so lange die Spannung nicht verändert wurde, und dass die Geschwindigkeit des Fortschreitens eben so wenig durch die abnehmende Stärke der Wellen eine Aenderung erfuhr.

Als hierauf die Schnur in drei Versuchs-Reihen ungleich gespannt, und für jede Spannung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle gemessen wurde, ergaben sich dafür fast genau dieselben Werthe, die aus den bekannten Spannungen und dem bekannten Gewichte und der Länge der Schnur durch Rechnung hervorgingen.

492. Wenn an einem sehr langen, gespannten Faden die Ursache der Wellenbildung fortdauert, in der Weise, dass ein Punct a in demselben Augenblicke, da er zur Ruhe gekommen, mit derselben Kraft, wie eine Zeitperiode T vorher wieder abgelenkt wird, so reihet sich der fortlaufenden Welle, ohne sie zu stören, unmittelbar eine neue an. In gleicher Weise kann ein ganzer Zug aufeinander folgender Wellen entstehen. Jedes Element dieses Zuges schwingt dann in gleichen, jedoch von einem Element zum andern ungleichzeitigen Perioden hin und her, während die Bewegung dem Faden entlang immer weiter fortschreitet.

Die Ausweichungen der verschiedenen einer Welle angehörenden Theilchen aus der Lage der grössten Schwingungsgeschwindigkeit, oder auch ihre bis dahin gewonnenen oder wieder verlorenen Geschwindigkeiten lassen sich mit Hülfe der Gleichungen (I) und (II) No. 489 graphisch darstellen.

Man beschreibe zu dem Ende mit dem Radius $co = \frac{1}{4} cg$ (zu vergl. Fig. 5 Pl. V), welcher die grösste Schwingungsweite eines Theilchens vorstellt, einen Kreis, zerlege jeden der vier Quadranten in eine gleiche Anzahl Theile, 1, 2, 3, 4 u. s. w. und bestimme die diesen Zeitbögen zugehörigen Cosinusse; oc, 1 a, 2 b u. s. w.

Man ziehe dann die gerade Linie ox und theile den Längenabschnitt oq derselben, welcher eine ganze Wellenlänge bedeutet, in eben so viele gleiche Theile, wie vorher den Kreisumfang, z. B. in 12. Auf den Theilungspuncten errichte man die senkrechten Lienien oc; 1 a; 2 b u. s. w. (welche den Cosinussen der Bögen o, o 1, o 2 u. s w. gleich sind) über oder unter der Linie, je nachdem der betreffende Cosinus mit dem positiven oder negativen Zeichen behaftet ist. Endlich verbinde man die verschiedenen Endpuncte der Senkrechten durch eine krumme Linie, so zeigt diese, wenn man die Zahlen 0, 1, 2, 3 u. s. w. bis 12 als die aufeinander folgenden gleichen Abschnitte der Zeit T betrachtet, für ein beliebiges Theilchen der schwingenden Saite seine Abstände von der Gleichgewichtslage, d. h. von der Lage der grössten Schwingungsgeschwindigkeit, für jede Phase der Schwingungszeit T. Denkt man sich aber die gerade Linie oq als eine Reihe aufeinander folgender materieller Puncte der Saite, so

geben die von diesen Puncten auf der geraden Linie errichteten und bis zur krummen Linie geführten Senkrechten, die augenblicklichen Schwingungsweiten, worin diese verschiedenen Puncte einer Welle sich gleichzeitig befinden.

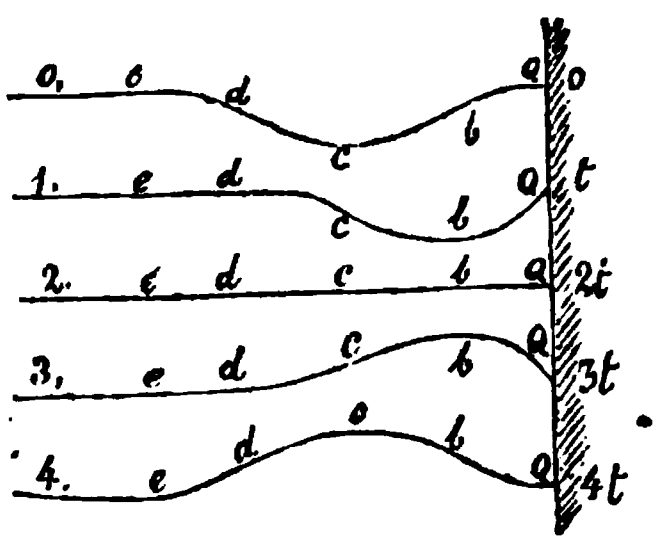
Auf ähnliche Weise lassen sich die gleichzeitigen Schwingungsgeschwindigkeiten sämmtlicher Theile einer oder mehrerer Wellenlängen durch eine krumme Linie darstellen, indem man statt der Cosinusse die Sinusse der Zeitbogen auf der geraden Linie ox als Ordinaten aufträgt. Der Radius des Theilungskreises ist in diesem Falle der grössten Schwingungsgeschwindigkeit gleich zu setzen.

Beide Linien sind in Fig. 5, Pl. V, von gleichen Ausgangspuncten beginnend, unter einander gestellt. Sie gestatten, das Verhältniss der Schwingungsweite und Geschwindigkeit in jeder Schwingungsphase mit einem Blicke zu übersehen.

So sieht man, dass die grösste Geschwindigkeit mit dem Uebergange der positiven in die negative Ausweichung, d. h. der beschleunigten in die verzögerte Bewegung zusammenfällt, dass im Augenblicke der grössten Ausweichungen jedesmal die Geschwindigkeit 0 eintritt u. s. w.

493. Wenn eine Welle am Befestigungspuncte Q der Schnur angekommen ist, also die Lage $Qbcde$ (Fig. 226) angenommen hat, so wird sie durch den Widerstand dieses Punctes zurückgeworfen. D. h. die Bewegung wird nach bekannten Gesetzen der Elasticitätslehre am Befestigungspuncte erst aufgehoben, dann mit einer der früheren, gleichen Stärke, aber im entgegengesetzten Sinne zurückgegeben.

Fig. 226.



Das vorderste Theilchen Q der Wellenbiegung, nämlich der Befestigungspunct selbst kann nicht mehr in die Bewegung hineingezogen werden und die auf denselben übertragenen Stösse, in ihrer Rückwirkung, haben sich nach der Zeit $t = \frac{1}{4}$ der Schwingungsperiode bis zu dem Puncte b des Fadens fortgepflanzt, in demselben Augenblicke, da dieser Punct im Verlaufe seiner Schwingung an der Stelle seiner grössten Ausweichung angelangt ist. (Fig. 226. 1.) Das noch im Fortschreiten begriffene Wellenstück cb der ursprünglichen Welle ist dadurch mit dem zurückgeworfenen Qb ganz zusammengefallen. Weil aber beider Bewegungen entgegengesetzt und die entgegengesetzten Geschwindigkeiten jedes Theilchens in diesem Augenblicke gleich sind (man vergleiche Fig. 5 Pl. V), so heben sie sich wechselseitig auf. Alle Theile des Fadenstückes Qb (1) befinden sich daher jetzt in Ruhe und im Zustande möglichst starker Ausbiegung, während die hintere Hälfte cde der Welle in die Lage bcd gelangt und in aufsteigender Bewegung befindlich ist. Die Welle hat die Gestallt $Qbcd$ erhalten. Die Pfeilhöhe ist die doppelte gegen früher; die beschleunigende Kraft ist daher ebenfalls verdop-

pelt (No. 491). Gleichzeitig mit dem Puncte *c* des hintersten Wellentheiles, nämlich nach Verlauf des zweiten Viertels der Schwingungsperiode müssen daher alle Puncte der Welle in die Lage *e Q* (Fig. 226. 2) eintreten, so dass die Schnur einen Augenblick als gerade Linie erscheint, Da jedoch alle zwischen *c* und *Q* befindlichen Theile vermöge der Gestalt der Biegung fortdauernd beschleunigt wurden, so haben sie im Augenblicke der Ankunft in der geraden Linie ein Maximum der Geschwindigkeit angenommen und müssen daher ihre Bewegung auf der andern Seite fortsetzen; ganz so wie es geschehen müsste, wenn bei *b* ein Stoss von unten nach oben erfolgt wäre. Wieder nach ¼ der Schwingungsperiode oder im Ganzen nach der Zeit 3 *t*, ist dadurch die Ausbiegung *d e b Q* (Fig. 226. 3) entstanden, und endlich nachdem eine ganze Schwingungsperiode verflossen ist, hat sich eine vollständige der früheren gleiche Welle über der Linie entwickelt, die dann in gewöhnlicher Weise der Schnur entlang, jetzt jedoch über derselben fortlauft. Man nennt sie die zurückkehrende oder zurückgeworfene (reflectirte) Welle. Dieselbe Erscheinung wiederholt sich dann am andern Befestigungspuncte u. s. f. bis der durch den anfänglichen Stoss bewirkte Bewegungstrieb durch Bewegungs-Hindernisse erschöpft ist. Man sieht nun, warum eine Welle, die an einer langen Schnur einmal hin und her lauft, dazu dieselbe Zeit braucht, als wäre sie am Ende einer Schnur von doppelter Länge nur ein einziges Mal angekommen. —

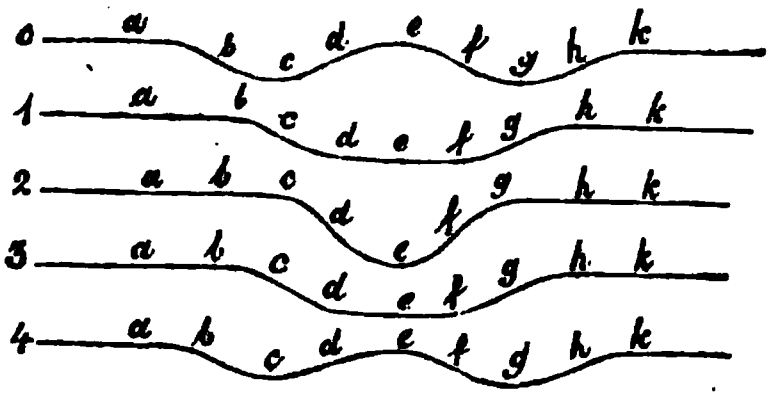
494. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen von ihrer Stärke und Länge ganz unabhängig ist, so lange sich die Spannung und sonstige Beschaffenheit der Schnur nicht verändert, so kann eine nachfolgende Welle die ihr voreilende niemals erreichen. Wenn jedoch die erzeugende Ursache in der Nähe des einen Endpunctes *P* einer gespannten Schnur *P Q* in einer solchen Zeitfolge zur Wirksamkeit kommt, dass die neue Welle in dem Augenblicke entsteht, als die frühere an demselben Punct *P* eine zweite Zurückwerfung erfahren hat, so fallen beide Wellen zusammen und müssen sich als eine einzige verstärkte Welle fortbewegen.

Man nehme an, das gespannte Seil werde näher der Mitte erschüttert; so pflanzt sich von dem Erschütterungspuncte aus, der unmittelbar darauf wieder in Ruhe kommt, nach jeder Seite eine Welle von gleicher Stärke fort. Beide von den Befestigungspuncten zurückgeworfen, müssen dann an irgend einem Puncte *e* zusammentreffen. Von diesem Augenblicke an lauft während der Zeit einer halben Schwingungsperiode jede Welle gleichsam an der Biegung der andern fort, bis beide in einem Augenblicke in demselben Raume zusammenfallen und eine einzige Welle von doppelter Stärke bilden. Da aber die Bewegung nach beiden Sei-

ten fortschreitend ist, so muss diese Welle sich alsbald wieder in ihre früheren Bestandtheile auflösen, die dann nach entgegengesetzten Richtungen an dem Seile fortlaufen.

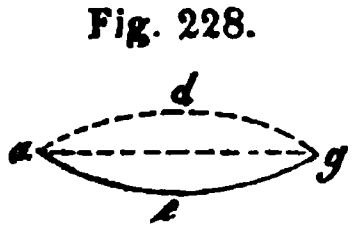
In Fig. 227 (0 bis 4) sind die verschiedenen Lagen beider Wellen im Augenblicke des Zusammentreffens und nach dem ersten bis letzten Viertel einer ganzen Schwingungsperiode dargestellt.

Fig. 227.



495. Wenn die Länge einer in der Mitte angestossenen Saite beziehungsweise zur Zeit der Einwirkung nicht mehr als eine halbe Wellenlänge beträgt, so beginnt die Zurückwerfung von beiden Befestigungspuncten, bevor sich die Welle in ganzer Ausdehnung entfalten konnte; und in demselben Augenblick, da der angestossene Punct seine grösste Ausweichung vollendet, d. h. nach der Zeit einer halben Schwingungsperiode, hat sich auch der Einfluss der Reflexion von beiden Seiten her wieder bis zu diesem Puncte fortgepflanzt. Alle Theile der Saite mussten daher, jeder an der Gränze seiner möglichen Ausbiegung zur vorübergehenden Ruhe gelangen. Unmittelbar darauf beginnen alle gleichzeitig die Rückbewegung, und erreichen, ganz so wie es das Gesetz der Wellenfortpflanzung erfordert, nach der Zeit t, d. h. nach dem vierten Theil der Zeit einer Schwingungsperiode die Gleichgewichtslage ag (Fig. 228). Weil sie aber während der Rückkehr in diese Lage fortwährend beschleunigt worden sind; so müssen sie ihre Bewegung auf der andern Seite der Linie ag mit der erlangteu Geschwindigkeit wieder fortsetzen; bis sie wieder nach der Zeit t in der Lage adg von Neuem zur Ruhe kommen. Eine halbe Schwingungsperiode später befindet sich die Saite wieder in der Lage aeg, und abermals nach der Zeit $2t$ in der Lage adg u. s. f. Man sieht, die Schwingungen sind stehend geworden.

Fig. 228.



Die Zeit einer Hin- und Herbewegung, oder die Zeit einer ganzen Schwingungsperiode einer transversal schwingenden gespannten Saite ist also wie bei den fortschreitenden Schwingungen (491)

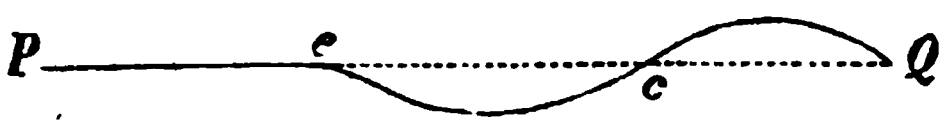
$$4\,t = T = 2\,l\,\sqrt{\frac{f\,s}{g\,P}}$$

wo $l = ag$, die Länge der Saite, oder die Hälfte einer Wellenlänge bedeutet.

Dieses Gesetz gilt für biegsame gespannte Fäden und Saiten aller Art, z. B. für Klavier- und Violin - Saiten u. s. w. Alle diese vollbringen also eine Hin- und Herbewegung in derselben Zeit, in welcher sich der Eindruck einer Erschütterung von einem Befestigungspuncte zum andern und wieder zurück bewegen kann.

496. Die Linie PQ (Fig. 229) mag eine gespannte Schnur von nicht weniger als 10 bis 15 Fuss Länge vorstellen. Eine Welle

Fig. 229.



von der Länge Qe, in der Richtung von P nach Q laufend, sei an dem Befestigungspuncte Q angekommen, hier zurückgeworfen, und eine halbe Schwingungsperiode später eben im Begriffe sich über die Linie zu erheben, als der vorderste Punct einer nachfolgenden gleich starken Welle den (in demselben Augenblicke zur Ruhe gekommenen) Punct c erreicht. Dieser Punct nunmehr von gleich starken Kräften in entgegengesetztem Sinne gezogen, muss in der Ruhelage verharren und verhält sich daher gegen beide Wellen wie ein fester Punct, d. h. beide werden von demselben zurückgeworfen. Gesetzt, in dem Augenblicke, da beide Wellen in Folge der Zurückwerfung durch die Linie PQ schwingen, werde auch der Punct e festgehalten, so kommen beide zum Stehen, ohne dass der Punct c, weil er fortdauernd von gleichen und entgegengesetzten Kräften gezogen wird, an ihrer Bewegung Theil nehmen kann.

Hat man mehrere Wellen, oder einen ganzen Zug so nach einander erzeugt, dass immer eine um den Abstand einer ganzen Wellenlänge hinter der andern zurück ist, so wird sich jede gegen die ihr vorhergehende auf ähnliche Weise verhalten. Die ganze Schnur muss dadurch in eine Anzahl Abtheilungen zerfallen, die je durch einen unbeweglichen Punct, einen sogenannten Knotenpunct getrennt, Hin- und Herbewegungen, stehende Schwingungen, abwechselnd über und unter die Linie vollbringen. Alle diese Knotenpuncte stehen gleich weit von einander ab, und der Abstand je zweier derselben kommt dem einer halben Wellenlänge gleich.

Fig. 230.

Ein schlaff gespanntes Seil oder ein schraubenförmig gewundener Draht lässt sich bei einiger Uebung in der Anstellung des Versuchs leicht in einfache Schwingungen versetzen oder auch nach Willkühr in zwei, drei

und mehr stehende Wellen, je zwei durch einen Knotenpunct getrennt, zerlegen. Fig. 230 stellt ein Seil vor, an welchem drei durch die Knotenpuncte *c* und *e* stehende Wellen gebildet sind.*)

In ähnlicher Weise wird jeder gespannte Faden durch die Reflexionen eines daran gebildeten Zuges gleich grosser Wellen allmählig genöthigt, in eine grössere oder geringere Anzahl gleicher Abtheilungen zu zerfallen, welche durch Schwingungsknoten getrennt sind und in gleichen Perioden hin und her schwingen. Bei stark gespannten Schnüren und Saiten von geringer Dicke lässt sich zwar die Erscheinung nicht mehr mit dem Auge verfolgen. Der Beweis kann aber, wie wir später sehen werden, dennoch mit gleicher Sicherheit durch die Beschaffenheit der dadurch entstehenden Töne geführt werden.

496. Angenommen, eine vom Puncte *Q* (Fig 231) zurückgeworfene Welle *ae* stosse mit einer später erzeugten gleich-

Fig. 231.

starken Welle *Ke* am Puncte *e* zusammen, der von den Endpuncten *P* und *Q* der Schnur so weit entfernt liegt, dass beide Wellen im Augenblicke ihres Zusammentreffens vollständig entwickelt sind.

Da beide nach Voraussetzung von gleicher Stärke sind, so vermögen sie den Punct *e* nicht in Bewegung zu setzen und müssen also an demselben abprallen, Die bisher unter der Linie *PQ* fortschreitende wirft sich während der Zeit einer ganzen Schwingungsperiode auf die obere Seite, und genau in derselben Zeit gelangt die vorher ober der Linie befindliche unter dieselbe. Dann nehmen beide ihren Rückweg; dergestalt, dass es ganz den Anschein hat, als ob beide Wellen, ohne sich wechselseitig zu stören, an einander vorübergegangen wären. Im Augenblicke des beschriebenen Wechsels in der Lage der Wellen, verschwindet die Biegung der Schnur, wie wenn beide Wellen sich wechselseitig zernichtet hätten. In der That ist aber nicht die Bewegung, sondern nur auf einen Augenblick die Biegung aufgehoben.

Sind beide zusammenstossende Wellen von ungleicher Stärke, so wird der Punct *e* nur durch ihren Unterschied in Bewegung gesetzt. Man kann sich dann die stärkere Welle *ace* aus zwei Wellen zusammmengesetzt, vorstellen, von welchen die eine der Welle *Kge* gleich und entgegengesetzt ist; so dass beide sich

---

*) Weber (Wellenlehre S. 468) empfiehlt das an einem Ende befestigte Seil am andern mit der Hand zu fassen. Am besten gelingt der Versuch, wenn dieses Ende nicht blos in einer Ebne aufwärts und abwärts, sondern mehrmals im Kreise herumgeführt wird. Man sieht dann Wellen entstehen, die allmählig in stehende Schwingungen übergehen. Die Anzahl Schwingungsknoten hängt von der Stärke der Spannung und der Schnelligkeit der Umdrehung ab.

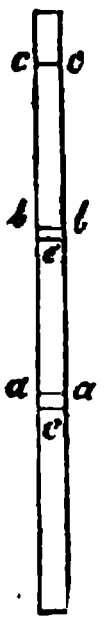
wechselseitig zurückwerfen müssen. Dagegen der Ueberschuss der Welle *a e* schreitet ungestört fort, dergestalt, dass er nach der Zeit einer ganzen Schwingungsperiode mit der zurückgeworfenen Welle *K g' e* zusammenfallen und diese verstärken muss. Das Endresultat der wechselseitigen Einwirkung beider ursprünglichen Wellen ist also wieder von der Art, wie wenn beide ungestört an einander vorüber gegangen wären.

Die Erscheinungen des Zusammentreffens und Uebereinanderfallens verschiedener Wellen, wodurch sich dieselben an gewissen Stellen bald wechselseitig verstärken, bald theilweise oder ganz aufheben können, ohne dass die wirkliche Grösse der vorhandenen lebendigen Kraft dadurch eine Aenderung erleidet, nennt man Interferenzen. Der Uebergang einer fortschreitenden Welle in stehende Schwingungen beruht auf einer Interferenz derselben mit reflectirten Wellen.

Körper, welche schon durch innere Steifigkeit elastisch sind, wie Glasfäden, Metalldrähte, Stäbe, Röhren, besitzen, ähnlich wie die gespannten Saiten, die Fähigkeit, Querschwingungen fortzuleiten Die Gesetze dieser Schwingungen sind jedoch viel verwickelter als die der biegsamen fadenförmigen Körper und eignen sich nicht für die elementare Erläuterung.

497. Fortschreitende Längenschwingungen. — Wenn eine elastische Säule von beliebigem Stoffe in der Richtung der Länge gezogen oder gedrückt wird, so pflanzt sich die an der Stelle der ersten Einwirkung eintretende Veränderung durch Längenschwingungen fort.

Fig. 232.



Sei *a c* (Fig. 232) ein Stück einer sehr langen elastischen Säule, deren Querschnitt gleich der Flächeneinheit. Die Elasticität des Stoffs innerhalb der Gränzen der äusseren Einwirkungen sei vollkommen, und *E* der Modulus derselben. Ein angehängtes Gewicht *E* würde also die Längeneinheit aufs doppelte ausziehen können. Durch einen Bruchtheil dieses Gewichtes, δE würde die Länge 1 um δ, eine beliebige Länge *l* um δl vergrössert werden. Angenommen die Kraft δE wirke, sei es dehnend oder verdichtend, nur vorübergehend während einer Zeit *t*. und der Eindruck ihrer Wirksamkeit pflanze sich in dieser Zeit um die Länge $a b = l$ fort. — Man denke sich das Stück *l* der Säule in *n**) gleich hohe Schichten abgetheilt und eben so die Zeit *t* in *n* gleiche Unterabtheilungen gebracht. In dem ersten dieser Zeittheilchen beginnt die Bewegung der ersten Schicht. Der hierdurch gebildete Spannungszustand der ersten Schicht äussert sich als bewegende Kraft auf die zweite, so wird diese in dem zweiten Zeittheilchen in die Bewegung mit-

*) *n* bedeute eine so grosse Zahl, dass die Höhe jeder Schicht, dem Abstande von einem Atome zum andern gleich kommt.

gerissen, während die erste unter der fortdauernden Einwirkung der Kraft δE von Neuem beschleunigt wird, also sich stärker spannt und gemäss dieser Spannung im dritten Zeittheilchen auf die zweite Schicht gerade so beschleunigend einwirkt, wie sie selbst im zweiten Zeittheilchen beschleunigt wurde. Derselbe Bewegungszustand, welchen die erste Schicht im zweiten Zeittheilchen angenommen hatte, wird dadurch im dritten Zeittheilchen der zweiten Schicht eingeprägt. Gleichzeitig gewinnt die dritte Schicht die Bewegung der ersten im ersten Zeittheilchen oder der zweiten im zweiten u. s. f. bis endlich nach Verlauf der Zeit t die $n$te Schicht von der Bewegung in demselben Augenblicke ergriffen wird, da die erste Schicht mit der grössten Spannung, welche der Kraft δE das Gleichgewicht hält, zugleich ihre grösste Geschwindigkeit angenommen hat. Die Wegeslänge l, um welche sich auf diese Weise der erste Eindruck in der Zeit t fortgepflanzt hat, hängt für eine gegebene gleichartige Säule durchaus nur von dieser Zeit der äusseren Einwirkung ab und ist ganz unabhängig von der Beschaffenheit des Werthes δ. Denn wenn δ zunimmt, so vergrössern sich zwar die spannenden Kräfte, welche nach einander die verschiedenen Schichten erfassen, aber da in demselben Verhältnisse auch die Räume zunehmen, durch welche jede Schicht sich bewegen muss (zu vergleichen No. 475), so kann dadurch die Anzahl Schichten, d. i. die Länge des Säulenstücks, welche in derselben Zeit in die Bewegung gezogen wird, nicht verändert werden. Diese Wegeslänge l wird sich hiernach selbst dann nicht ändern können, wenn δ einen im Laufe der Zeit t veränderlichen Werth besitzt.

Die Geschwindigkeit womit die Erschütterung gleichförmig fortrückt, ist daher $V = \frac{l}{t}$.

Die ganze Veränderung, z. B. Dehnung, welche das Säulenstück l unter dem Einflusse der Kraft δE erfahren kann, beträgt, wie oben gezeigt wurde, δl. Diese Dehnung ist aber zu Ende des Zeitabschnittes t nicht erreicht, denn nur die erste Schicht $\frac{1}{n} l$ hat bereits die ganze derselben entsprechende Spannung und folglich die Verlängerung $\frac{1}{n} \delta l$ erlitten. Gesetzt, der Weg den die Querschnittsfläche $a\,a$ (Fig. 232) vermöge der abnehmenden Dehnungen sämmtlicher n Schichten des Säulenstücks $a\,b$ zurückgelegt hat, sei $a\,e$. Einen Zeitraum t später hat sich der ganze Bewegungszustand von $a\,b = l$ auf $b\,c = l$ übertragen. D. h. c beginnt eben beschleunigt zu werden, bei b ist die grösste Geschwindigkeit bereits eingetreten, der Querschnitt $b\,b$ hat mit zu-

nehmender Geschwindigkeit einen Raum $be' = ae$ beschrieben. Vermöge gewonnener Geschwindigkeit setzte unterdessen aa seine Bewegung fort; da jedoch (nach Voraussetzung) das Uebergewicht der äusseren Einwirkung jetzt aufgehört hat, so wirkt der Unterschied der Spannung der ersten und zweiten Schicht verzögernd auf die Bewegung der ersten. Ihre Geschwindigkeit nimmt daher ab, während die der zweiten Schicht in dem nächsten Zeittheilchen $\frac{1}{n} t$ noch zunimmt und das Maximum erreicht. Dann beginnt auch bei der zweiten Schicht die Verzögerung und bei der ersten währt sie fort u. s. w. Am Ende der Zeit $2t$ ist dieser verzögernde Einfluss bis zum Puncte b fortgeschritten und die Bewegung der ersten Schicht ist vollständig zernichtet worden, nachdem diese von Neuem einen Raum ae zurückgelegt hatte. Der Zustand des Säulenstücks ab ist in diesem Augenblicke offenbar der umgekehrte von vorher. Alle Theile desselben befanden sich am Schlusse der Zeit t in beschleunigter Bewegung, jetzt ist bei allen Verzögerung eingetreten. Noch sind sie zwar gespannt, aber die stärkste Spannung herrscht bei b, wo sie vorher Null war und bei a hat sie eben aufgehört.

Die Fläche aa hat in der Zeit $2t$ im Ganzen, theils beschleunigt, theils verzögert, den Weg $2.ae$ beschrieben. Sämmtliche Schichten von l haben unterdessen nach einander das Maximum ihrer Dehnung erfahren, somit je eine Senkung der Fläche aa von der Grösse $\frac{1}{n} \delta l$ bewirkt; $2.ae$ ist der Ausdruck der Summe dieser Wege. Es ist daher $2.ae = n.\frac{1}{n}\delta l = \delta l$. Die Fläche aa legt also zuerst mit beschleunigter Bewegung den Raum $\frac{\delta l}{2}$ und dann den gleichen Raum mit verzögerter Bewegung zurück, und diese Bewegung pflanzt sich mit der Geschwindigkeit V von Schicht zu Schicht allmählig durch die ganze Säule fort. —

Ein Stück $ac = 2l$ der elastischen Säule, dessen Schichten gleichzeitig an dieser fortschreitenden Bewegung Theil nehmen, wird, je nachdem dieselbe von Verdichtung oder Verdünnung begleitet ist: eine Verdichtungs- oder eine Verdünnungs-Welle genannt. Ihre Länge $2l$ hängt von der Dauer der Einwirkung ab, ihre Stärke, d. h. die Grösse des Weges δl, welchen jede Schicht zurücklegen muss, von der Grösse der Kraft δE. —

Wenn die Ursache dieser Wellenbildung mit gleicher Stärke fortwirkt, aber abwechselnd im Sinne der Dehnung und Verdich-

tung, so muss die Fläche aa unmittelbar nachdem sie zur Ruhe gekommen war, ihren Lauf rückwärts beginnen. Sie wird dann in der derselben Zeit ($2t$) wie vorher den Weg δl, vorher im Sinne der Dehnung, jetzt im Sinne der Verdichtung beschreiben, und der erste Eindruck dieser Verdichtung wird auf die Länge $2l$ fortgeschritten und bei der Schicht cc (Fig. 232) angekommen sein, eben nachdem die letzte Spur der vorhergehenden Dehnung in derselben Schicht verschwunden war. Auf diese Verdichtungswelle folgt dann wieder eine Verdünnungswelle u. s. w. Eine Reihe aufeinander folgender Wellen dieser Art, bilden einen Wellenzug. Eine Verdichtungswelle und eine Verdünnungswelle zusammengenommen nennt man gewöhnlich eine ganze Welle, deren Länge hiernach $4l$ beträgt und der Fortpflanzungszeit $4t = T$ entspricht. D. h. jeder durch ein Stück $4l$ der Säule geführte Querschnitt macht in der Zeit T den Weg δl einmal hin und einmal wieder zurück.

Die Spannung der einzelnen Schichten, welche zusammen den verdichteten oder den verdünnten Theil einer ganzen Welle bilden, wächst vom vordersten Puncte bis zur Mitte, wo sie der ganzen Grösse der Kraft δE entspricht und mindert sich dann wieder nach dem Ende hin. Die jedesmalige Spannung einer Schicht bezeichnet aber nicht ihre bewegende Kraft; letztere entspricht vielmehr dem Unterschiede der Spannung der vorhergehenden und nachfolgenden. Diese Unterschiede sind positiv in der vorderen Hälfte, negativ in der hinteren Hälfte der betrachteten Wellenabtheilung und verschwinden in der Mitte. Jede Schicht überträgt die Spannung, welche sie während eines Zeittheilchens $\frac{1}{n}t$ besass, auf die folgende und empfängt dafür die der vorhergehenden. Jede Schicht wird also im Laufe der Zeit t durch alle Spannungs-Unterschiede beschleunigt, welche gleichzeitig über ein Stück l der Säule, oder ein Viertel der ganzen Wellenlänge vertheilt sind und deren Summe der Spannung δE gleichkommt. Der Mittelwerth der Beschleunigung einer beliebigen Schicht im ersten Viertel t ihrer Schwingungsperiode, oder der Mittelwerth ihrer Verzögerung im zweiten Viertel beträgt daher:

$$G = g \frac{\delta E}{l s}$$

wo s das Gewicht der Kubikeinheit des Stoffes bedeutet.

Da jede Schicht nach und nach durch alle den verschiedenen Spannungsunterschieden zugehörige Beschleunigungen getrieben wird, und zwar von jeder durch die Zeit $\frac{1}{n}t$, so ist es gerade

so, als würde sie während der ganzen Zeit t durch den Mittelwerth G beschleunigt. Die grösste Geschwindigkeit einer Schicht ist demnach:

$$Gt = g \frac{\delta E}{l s} t.$$

Es ist aber auch, wenn man bedenkt, dass die Schicht unter dem Antriebe der mittleren Beschleunigung den Weg $\frac{\delta l}{2}$ zurücklegen muss:

$$G t = \sqrt{2 g \frac{\delta E \, \delta l}{l s \quad 2}} = \delta \sqrt{g \frac{E}{s}}$$

Beide Werthe von Gt einander gleich gesetzt und reducirt, findet man:

$$t = l \sqrt{\frac{s}{g E}} \quad \text{also } T = 4 l \sqrt{\frac{s}{g E}}$$

und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung bewirkt durch fortschreitende Längenschwingungen:

$$V = \frac{l}{t} = \sqrt{\frac{g E}{s}}.$$

Die Geschwindigkeit, womit Dehnung oder Zusammendrükkung durch eine elastische Säule von beliebigem Stoffe sich fortpflanzen, verhält sich direkt wie die Wurzel aus dem Elasticitäts-Coefficienten, und umgekehrt wie die Wurzel aus der Dichtigkeit des Stoffes.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung ist also am grössten in solchen Körpern, die bei geringer Dichtigkeit sich nur wenig zusammendrücken lassen. In einer Masse, die völlig unzusammendrückbar wäre, müsste sich jeder äussere Eindruck augenblicklich bis auf unendliche Entfernung fortpflanzen.

Der Quotient $\frac{E}{s}$ bedeutet die Länge einer Säule von solchem Gewichte, dass dadurch der oberste Zoll auf die doppelte Länge ausgezogen werden müsste (N. 477). Man kann daher auch sagen: die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Drucks in einer elastischen Säule von beliebiger Dicke verhält sich wie die Wurzel aus einem Längenstücke derselben, durch dessen Gewicht der oberste Zoll zur doppelten Länge ausgezogen werden müsste.

Dieses Gesetz gilt für elastische Körper aller Art und auch für Flüssigkeiten, wenn für E deren Elasticitätsmodulus und für s ihr spec. Gewicht gesetzt wird.

498. Dasselbe Gesetz, welches für Säulen erwiesen ist, bleibt aber auch für beliebig gestaltete gleichartige Körpermassen wahr,

wenn sich darin die Bewegung, von einem gewissen Puncte ausgehend, nach verschiedenen Richtungen ausbreitet. Denn da die Geschwindigkeit nicht von der Stärke des Eindrucks, oder von der Grösse des Weges, welchen die einzelnen Schichten zurücklegen müssen, abhängig ist, so kann dieselbe dadurch nicht verändert werden, dass bei zunehmender Entfernung von dem Ausgangspuncte, zunehmende Massen bewegt werden müssen, also die Grösse der Einwirkung auf jedes einzelne Theilchen mehr und mehr abnimmt.

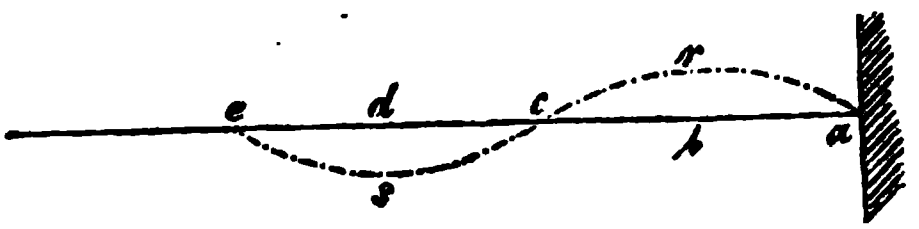
Ist eine Masse, wie z. B. das Wasser oder die Luft, nach allen Richtungen gleich elastisch, so pflanzt sich auch eine darin bewirkte Erschütterung nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit fort. Die darin gebildeten elastischen Wellen sind dann mit Kugelschaalen zu vergleichen, die den Erschütterungsmittelpunct concentrisch umschliessen und bei stets gleichbleibender Dicke immer grössere Umfänge erhalten.

In Körpern die, wie die meisten Krystalle, nach verschiedenen Richtungen eine ungleiche Dehnbarkeit besitzen, pflanzt sich der Stoss nach den verschiedenen Seiten mit ungleicher Geschwindigkeit fort, so dass verschiedene Puncte einer Körpermasse, an welchen der Eindruck gleichzeitig ankommt, von dem Erschütterungsmittelpuncte in ungleichen Abständen liegen.

Eine durch die Puncte der gleichzeitigen Ankunft der Welle gelegte Fläche heisst Wellenfläche.

499. Zurückgeworfene Längenwellen. — Längenwellen schreiten in der vorher beschriebenen Weise fort, so lange sich das Mittel nicht ändert, worin sie sich bewegen. Gesetzt aber die in einer elastischen Säule, z. B. in einem Stabe von Metall, Glas oder Holz erregte Welle, sei am Ende desselben angekommen. Wir wollen annehmen, dieses Ende *a* (Fig 233) sei befestigt, etwa in einem Schraubstocke eingeklemmt und der verdünnte Theil der Welle gehe voran. Die krumme Linie *arcse* mag die Phasen der Geschwindigkeiten andeuten in welchen verschiedene Theile des Stabs sich in diesem Augenblicke befinden. Der Vordertheil *ab* der verdünnten Wellenhälfte, indem er an dem Befestigungspuncte anstösst, verliert stufenweise seine Bewegung, empfängt sie aber nach elastischen Gesetzen im entgegengesetzten Sinne zurück, wodurch eine neue, der früheren an Beschaffenheit ganz gleiche Welle von *a* gegen *b* vorrückt und den Punct *b* nach derselben Zeit (t) ergreift, nach deren Verlauf der Hintertheil *bc* der

Fig. 233.



verdünnten Wellenhälfte in die Stellung *b a* eingerückt ist. Jede Schicht des Stückes *a b* müsste jetzt zwei an Grösse gleiche, der Richtung nach entgegengesetzte Geschwindigkeiten angenommen haben. Alle kommen daher in diesem Augenblicke zur Ruhe: aber alle befinden sich noch im Zustande der Ausdehnung, welche bei *a* gerade ihr Maximum erreicht hat, bei *b*, dem Uebergangspuncte zur Verdichtungswelle, wieder 0 ist. Vermöge dieser Spannung werden gleichzeitig alle Theilchen des Stückes *b a* in der Richtung von *b* gegen *a* gezogen, und die hieraus hervorgehende Bewegung hat sich nach Ablauf des zweiten Viertels der Schwingungsperiode (d. h. vom Beginne der Zurückwerfung gerechnet, nach der Zeit $2t$) bis zum Puncte *c* (nämlich $cb = ab = l$) fortgepflanzt; dem Puncte *b* ist seine grösste Schwingungsgeschwindigkeit eingeflösst; die verdünnte Wellenhälfte ist nunmehr vom Befestigungspuncte vollständig zurückgeworfen. Alle Theile der Länge *a c*, welche sich im Augenblicke des Anstosses der Welle im Sinne von *a* nach *c* bewegten, bewegen sich jetzt, eine halbe Schwingungsperiode später, von *c* nach *a*. Unterdessen ist aber auch die verdichtete Wellenhälfte am Befestigungspuncte angelangt, oder in die Stellung *c a* (Fig. 235) eingerückt. Die durch die zurückgeworfene verdünnte Wellenhälfte bewirkte Dehnung, so wie die der nachfolgenden verdichteten Wellenhälfte entsprechende Zusammendrückung, die beide in denselben Raum fallen, müssen sich wechselseitig aufheben. Die natürliche Spannung der Theilchen ist hergestellt. Zugleich haben sich aber ihre Schwingungsgeschwindigkeiten verdoppelt, weil die Bewegung der Theilchen bei beiden in einander getragenen Wellenhälften nach derselben Richtung, von *c* gegen *a*, geschieht. Durch die Fortdauer dieser Bewegung verdichten sich die zwischen *c* und *a* liegenden Theilchen, die zwischen *c* und *e* liegenden werden allmählig mit in die Bewegung gezogen und müssen sich ausdehnen. So kommt es, dass am Schlusse der ganzen Schwingungsperiode, eine Dehnungswelle, mit einer der früheren entgegengesetzten Bewegungsrichtung, nämlich von *c* nach *e* fortschreitend, in der Lage *e o* (Fig. 236), vollständig entwickelt erscheint, während der verdichtete

Fig. 234.

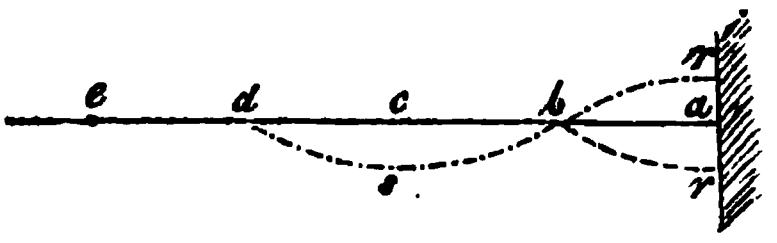


Fig. 235.

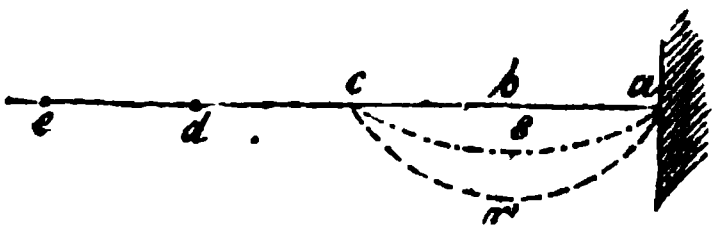
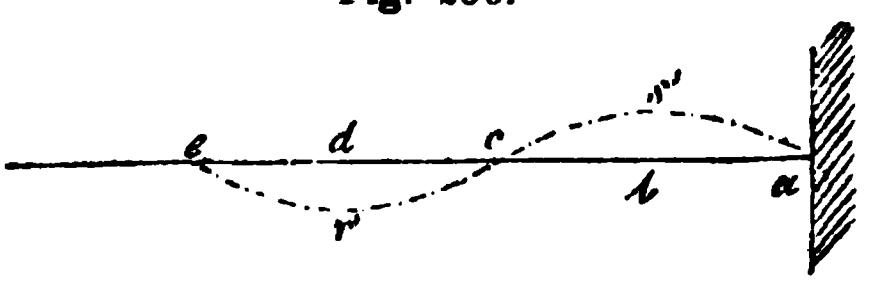


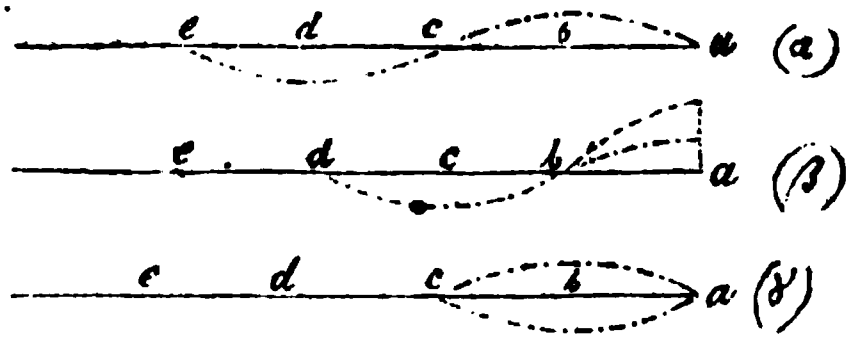
Fig. 236.



Wellentheil, in ähnlicher Weise wie vorher der verdünnte, vom Puncte *a* zurückgeworfen, zur Bildung einer neuen Verdichtungswelle *ca* die Veranlassung gegeben hat. Beide Wellenhälften schreiten forthin ungestört und in derselben Ordnung wie früher gegen das andere Ende des Stabs.

Kommt die Welle am freien Ende des Stabes an, so wird sie zwar auch zurückgeworfen. Jedoch ist der Vorgang verschieden. Das freie Ende *a* (Fig. 237 *α*) ist nämlich nicht gehindert, stufenweise in alle Phasen der Schwingungsgeschwindigkeit wirklich einzutreten. Da es aber dieselbe nicht weiter vorwärts übertragen kann, und dadurch ein Streben erhält, die in einem beliebigen Augenblicke in der Richtung von *a* gegen *c* erhaltene Bewegung in der folgenden Zeit fortzusetzen, so wirkt es verdichtend auf die hinter ihm liegenden, bisher ausgedehnten Schichten. Die so beginnende Verdichtungswelle schreitet gegen *b* (Figur 237 *β*) vor und hat diesen Punct erreicht, wenn der unterdessen

Fig. 237.



ebenfalls fortgeschrittene Hintertheil der Dehnungswelle am Endpuncte *a* angekommen ist. Verdichtung und Dehnung des Stückes *ab* haben sich dadurch aufgehoben. Weil aber die Bewegungen beider Wellentheile, die nunmehr in dem Stücke $ab = l$ übereinander getragen sind, gleiche Richtung haben, so sind die Schwingungsgeschwindigkeiten sämmtlicher Schichten verdoppelt worden. Die verdichtende Einwirkung dauert daher fort und ist bis zum Puncte c (Fig. 237 *γ*) vorgerückt, eben da die nachkommende Verdichtungswelle dieselben Schichten und in gleichen Phasen ergriffen hat. Beide entgegengesetzten Bewegungen haben sich dadurch vollständig aufgehoben. Alle Theile des Stückes *ac* befinden sich in Ruhe, aber zugleich im Zustande doppelter, bei *b* ihr Maximum erreichender Zusammendrückung. Es muss also eine Rückwirkung von *b* zugleich gegen *a* wie gegen *c* eintreten. D. h. die verdichteten Schichten dehnen sich, bei *a* beginnend, wieder aus, während andererseits die Verdichtung von *c* gegen *e* hin fortschreitet. Man erkennt nun leicht, dass der am Puncte *a* anstossende verdichtete Wellentheil durch die Zurückwerfung als Verdünnungswelle wieder erscheint und dass die ganze Welle eine volle Schwingungsperiode nach ihrer Ankunft am freien Ende, vollständig, aber

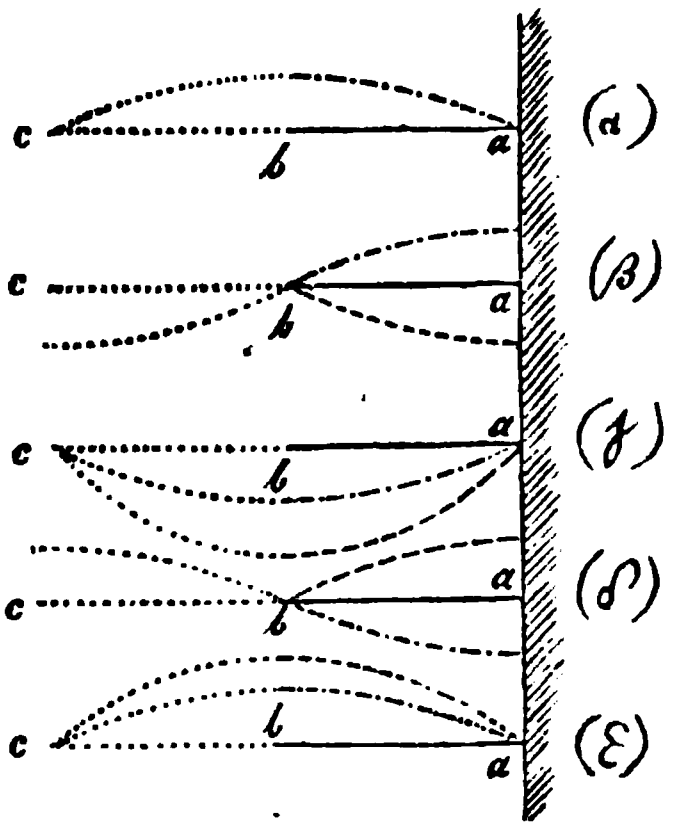
jetzt in verkehrter Ordnung wieder gebildet ist. War vorher der verdünnte Theil voran, so ist es jetzt der verdichtete Theil und umgekehrt.

Die am befestigten oder freien Ende einer elastischen Säule anstossende Welle kann in der Regel nicht vollständig zurückgeworfen werden; weil die Körper, welche beide Endpuncte begränzen und den Stoss aufnehmen müssen, nicht absolut fest und unelastisch sind. Ein Theil der Bewegung dringt daher in ihre Masse ein, mehr oder weniger, je nach der Grösse ihrer Dichtigkeit und elastischen Widerstandsfähigkeit, und pflanzt sich durch dieselbe fort. So dient die schwingende Bewegung der elastischen Säule an ihren Endpuncten, als Ursache der Wellenbildung in den angränzenden Mitteln.

Da jede wiederholte Zurückwerfung der Welle von den Enden der Säule eine ähnliche Wirkung hat, so begreift man leicht, warum die Stärke einer hin- und herlaufenden Welle sehr schnell abnehmen muss, wenn die erzeugende Ursache nicht in dauernder Thätigkeit bleibt.

500. **Stehende Längenschwingungen.** Wenn ein elastischer Stab $ab = l$ (Fig. 238), im Vergleiche zur Zeit der äusseren Einwirkung so kurz ist, dass die erste Hälfte einer Dehnungswelle (welche einem von b gegen a eindringenden Wellenzuge zugehören mag) bereits den festen Endpunct a erreicht und ihre Zurückwerfung begonnen hat, da die zweite Hälfte den freien Anfangspunct b erfasst, so ist (499) nach der Zeit t der zurückgeworfene Vordertheil mit dem bis an den Punct a fortgeschrittenen Hintertheil vollständig zusammengefallen. Alle Theilchen sind gleichzeitig zur Ruhe gebracht, alle befinden sich in einem von b gegen a wachsenden Spannungszustande (Fig. 238 β), in demselben Augenblicke, da die der zuerst eingedrungenen Dehnungswelle nachfolgende Verdichtungswelle ihren Einfluss auf den Punct b zu äussern beginnt. Die alsbald an allen Puncten des Stabs gleichzeitig wieder beginnende Bewegung würde, wenn der Stab länger wäre, am Schlusse des Zeitraumes $2t$, bis zum Puncte c, ($cb = ba$ Fig. 238 γ) vorgedrungen und die zurückkehrende Dehnungswelle dadurch vollständig hergestellt sein. Unterdessen ist aber auch die Verdichtungswelle, mit welcher sich wirklich der vom freien Ende b als Verdichtungswelle zurückgeworfene

Fig. 238.



Vordertheil der Dehnungswelle vereinigt hat und dadurch ausser Betracht kommen kann, bis nach *a* vorgerückt. Beide Wellen fallen daher in einander; die Theilchen treten in ihren natürlichen Spannungszustand zurück, während ihre Schwingungsgeschwindigkeiten sich verdoppelt haben.

Nach Ablauf des Zeitraumes $3t$, (δ) ist die zurückgeworfene Dehnungswelle ganz aus dem Umfange des Stabs herausgetreten, der Vordertheil der Verdichtungswelle, bei *a* reflectirt, ist mit seinem Hintertheil zusammengefallen. Die Theilchen befinden sich in Ruhe und im Zustande der Verdichtung.

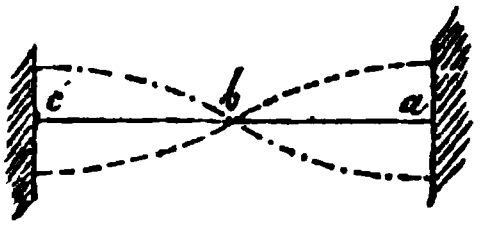
Nach Ablauf des Zeitraums $4t$, ist eine neu eintretende Dehnungswelle bis zum Puncte *a*, (ε) vorgerückt und mit der von diesem Puncte zurückgeworfenen Verdichtungswelle zusammengefallen. Abermals befinden sich die Theilchen gleichzeitig in ihrem natürlichen Spannungszustande; ihre Bewegung mit verdoppelter Geschwindigkeit ist aber jetzt von *a* gegen *b* gerichtet. Endlich, nachdem ein fünfter Zeitraum t verflossen, hat auch die Verdichtungswelle den Stab ganz verlassen. Die zweite Dehnungswelle ist zur Hälfte reflectirt, die Theile befinden sich sämmtlich im ausgedehnten Zustande und in Ruhe wie bei (β). — Es ist jetzt leicht zu sehen, dass wenn der Zug eindringender Wellen oder eine ihre Wirksamkeit ersetzende periodische Einwirkung in derselben Weise fortdauert, dasselbe Spiel sich wiederholen muss. Die Schwingungen sind stehend, und allemal in Zeiträumen die der Zeit $4t$, in welcher die Welle um eine ganze Wellenlänge fortrückt, wiederholen sich gleiche Zustände. Die Zeit einer Hin- und Herbewegung des oscillirenden Stabs ist daher:

$$4t = T = 4l\sqrt{\frac{s}{gE}}; \quad (497)$$

Dieselbe Betrachtung gilt natürlich für jedes elastische Mittel, welches in Stab- oder Säulenform, stehende Längenschwingungen vollendet.

Ist eine elastische Säule an beiden Endpuncten fest, so können gleichwohl stehende Schwingungen in derselben erzeugt werden, indem der z. B. in der Mitte einwirkende Druck, nach dem einen Ende *c* als Verdichtungswelle, nach dem andern *a* als Dehnungswelle fortschreitet. Die in dem vorhergehenden Falle an dem befestigten Endpuncte nach einander eintretenden Wirkungen, zeigen sich nun gleichzeitig an den Puncten *a* und *c* (Fig. 239); während der Mittelpunct *b* für beide Hälften der Säule gleichsam als freies Ende zu betrachten ist, indem er sich abwechselnd gegen *a* und wieder gegen *c* bewegt, und die grösste Geschwindigkeit

Fig. 239.

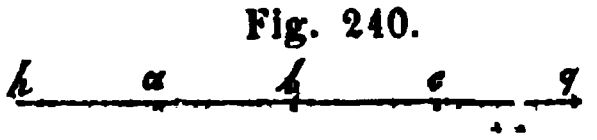


der Bewegung annimmt, ohne dabei eine Aenderung in seiner natürlichen Dichtigkeit zu erfahren; weil er von beiden Seiten immer durch gleichgerichtete und an Grösse gleiche Kräfte getrieben wird.

Eine elastische Säule, welche genöthigt ist, stehende Schwingungen zu vollenden, kann auch Knotenpuncte erhalten, d. h. solche Stellen, die, gleich den Befestigungspuncten, keinen Antheil an der Bewegung nehmen, aber abwechselnd eine Zunahme und Abnahme der Dichtigkeit erleiden, während die zwischen je zweien dieser Stellen liegenden Stücke gleichzeitig schwingen und in der Mitte einen Punct grösster Schwingungsgeschwindigkeit bei unveränderlicher Dichtigkeit einschliessen.

Gestützt auf die vorhergehenden Erläuterungen, lassen sich die Stellen, an welchen möglicherweise Schwingungs-Knoten entstehen können, sogar voraussehen. So wird man bei einigem Nachdenken finden, dass eine an beiden Enden durch feste Widerstände begränzte elastische Säule, durch die Schwingungsknoten immer in eine Anzahl gleich langer Stücke getheilt werden muss, und dass sie folglich nur an solchen Stellen Knoten erhalten kann, deren Abstand von dem nächsten festen oder Knotenpuncte sich eine ganze Anzahl Mal in die Länge der Säule eintragen lässt. Man wird eben so leicht finden, dass eine elastische Säule, die an einem oder an beiden Enden frei ist, einen Knotenpunct in einer Entfernung vom freien Ende erhalten kann, die nur halb so gross ist, als die Entfernung dieses Knotenpunctes von dem folgenden, insofern ein zweiter noch vorhanden ist. Z. B. der elastische an beiden Enden freie Stab hq kann einen einzigen Knoten im Mittelpuncte b, oder auch zwei Knoten an den Stellen a und e aber nicht zugleich einen dritten in b annehmen.

Fig. 240.



501. **Längenschwingungen in gespannten fadenförmigen Körpern.** — In gespannten Fäden und Saiten können neben den Querschwingungen auch Längenschwingungen erzeugt werden, welche mit Beziehung auf die durch Spannung künstlich entwickelte Elasticität dieselben Gesetze befolgen, wie die Längenschwingungen in elastischen Säulen, in Beziehung auf deren natürliche elastische Kraft. Es sei P die Spannung einer Saite; α die dem spannenden Gewichte proportionale Dehnung für die Längeneinheit. Einem beliebigen Zuge δP entspricht also die Dehnung $\delta\alpha$, denn innerhalb der Elasticitätsgränze, bleibt bei gespannten Saiten, welches auch die spannende Kraft sein möge, die durch einen Zuwachs an Kraft bewirkte neue Dehnung diesem Zuwachse selbst proportional. Der Ausdruck

$\frac{P}{f\alpha}$ *) entspricht ganz dem Elasticitätscoefficienten elastischer Körper, und es ergibt sich nun als einfache Folgerung, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Längenwellen in gespannten Fäden sein werde:

$$V = \sqrt{g \frac{P}{f\alpha s}}$$

oder wenn das Gewicht der Längeneinheit des Fadens mit d bezeichnet wird:

$$V = \sqrt{g \frac{P}{d\alpha}}$$

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer transversalen Welle in demselben Faden und bei gleicher Spannung ist (No. 491)

$$v = \sqrt{g \frac{P}{fs}}$$

Es verhält sich also $V : v = 1 : \sqrt{\alpha}$.

α ist in allen Fällen nur ein sehr kleiner Bruchtheil der Einheit. Man erkennt hieraus, dass sich die Längenwellen mit ungleich grösserer Schnelligkeit fortpflanzen, als die Querwellen, und dass sie sich folglich von den letzteren sogleich absondern müssen, wenn beide gleichzeitig an derselben Stelle erzeugt werden.

Luftwellen.

502. Die Lufttheile äussern gegeneinander eine abstossende Kraft, einen Druck, vermöge dessen sie sich in gleichen Abständen von einander zu erhalten und dieselben nach jeder Störung des Gleichgewichtes wieder herzustellen suchen. Die Bewegung jedes einzelnen Lufttheilchens, indem sie den Abstand zu den umgebenden Theilchen ändert, muss folglich auch auf diese und sofort auf die ganze Luftmasse einen bewegenden Einfluss ausüben. Diese fortschreitende Bewegung in der Luft, durch welche Ursache sie veranlasst worden sein und in welcher Richtung sie statt finden mag, gleicht immer den Längenschwingungen in elastischen Mitteln, weil vermöge der grossen Ausdehnsamkeit (Compressions - Elasticität) der Luft nicht die geringste Verschiebung ihrer Theile stattfinden kann, ohne eine verhältnissmässige Verdichtung nach der einen Seite und Verdünnung nach der andern nach sich zu ziehen.

Betrachten wir zunächst eine in einem langen und glatten cylindri-

*) D. i. das dehnende Gewicht für die Einheit des Querschnitts, dividirt durch den Dehnungsquotienten.

schen Rohr eingeschlossene Luftsäule. Ein Kolben in dieses Rohr luftdicht eingepasst, werde um eine kleine Strecke vorwärts oder rückwärts geschoben.

In dem einen wie in dem andern Falle beginnt er aus der Ruhe mit beschleunigter Bewegung fortzurücken, erreicht eine grösste Geschwindigkeit und kehrt dann durch allmählige Abstufungen wieder zur Ruhe zurück. Während des ersten Theils dieser Bewegung wird die den Kolben zunächst berührende Luftschicht fortwährend verdichtet oder verdünnt. Dieser Eindruck theilt sich den folgenden Schichten im Innern des Rohrs mit und hat sich, im Augenblicke, da der Kolben die grösste Geschwindigkeit besitzt, auf eine Strecke l fortgepflanzt. Es ist einleuchtend, dass der Zeitpunct der grössten Kolbengeschwindigkeit mit demjenigen zusammenfällt, in welchem die zuerst in Bewegung gesetzte Luftschicht die grösste Geschwindigkeit mit dem stärksten Grade der Verdichtung oder der Verdünnung angenommen hat. Während die Bewegung des Kolbens allmählig abnimmt und zur Ruhe zurückkehrt, vermindert sich auch die Geschwindigkeit dieser Luftschicht bis sie endlich mit dem früheren Ruhezustand die demselben entsprechende Dichtigkeit wieder erhält.

Angenommen, die Erschütterung der Luft im Innern des Rohrs erstrecke sich auf eine Säule von der Länge $l = ab$ (Fig. 241). Die Kolbenfläche a sei mit fortdauernder Beschleunigung eben bis c vorgerückt, und während hier die stärkste Verdichtung bereits statt gefunden habe, beginne der erste Eindruck der Bewegung bei b eben erst fühlbar zu werden. Der Weg ac ist, was auch sonst die Natur der Bewegung sein mag, nur halb so gross, als er sein müsste, wenn alle Schichten der Säulenlänge l die Dichtigkeit der zuerst gestossenen Schicht angenommen hätten. (Zu vergl. No. 497.) Es sei $2ac = \delta l$, so ist, wenn b den Barometerstand, x die Zunahme der Luftspannung bei der stärksten eintretenden Verdichtung vorstellt: $b + x : b = l : l - \delta l$.

Fig. 241.

$$\text{Daher } b + x = \frac{b\,l}{l - \delta\,l} \quad \text{und } x = \frac{b\,\delta\,l}{l - \delta\,l}$$

In ähnlicher Weise findet man für den Fall einer Ausdehnung der Luftsäule um den Weg $ac = \frac{\delta\,l}{2}$ die Abnahme der Spannung $x = \frac{b\,\delta\,l}{l + \delta\,l}$.

Ist δ ein sehr kleiner Bruch, so kann man denselben gegen die Einheit vernachlässigen, und es wird $x = \delta b$. D. h. sowohl für die Verdichtung wie für die Verdünnung ist die bewegende

Kraft (δb) dem von der untersten Schicht der Säule l zurückgelegten Wege $\left(\frac{\delta l}{2}\right)$ proportional; ganz so wie bei festen und tropfbar-flüssigen elastischen Säulen, vorausgesetzt nur, dass δl ein sehr kleiner Bruchtheil von l sei. Die für feste und tropfbar-flüssige Körper entwickelten Fortpflanzungsgesetze der Bewegung müssen also hier, innerhalb der angedeuteten Gränzen, gleiche Geltung haben.

Es findet daher ähnlich wie dort (No. 497) ein gleichförmiges Fortschreiten der Bewegung statt, oder die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung ist:

$$V = \frac{l}{t};$$

ferner die mittlere Beschleunigung der Schichten:

$$G = g\,\frac{\delta b}{l\,s};$$

die grösste Geschwindigkeit einer Schicht:

$$Gt = g\,\frac{\delta b}{l\,s}\,t = \sqrt{2g\,\frac{\delta b}{l\,s}\,\frac{\delta l}{2}}$$

und folglich die Zeit, während welcher die Bewegung um die Weglänge l fortrückt:

$$t = l\sqrt{\frac{s}{g\,b}}$$

Endlich die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit dieser Bewegung:

$$V = \frac{l}{t} = \sqrt{\frac{g\,b}{s}}.$$

Hat man b als Quecksilbersäule gemessen, so ist s die Dichtigkeit der Luft unter dem Drucke b und bei der herrschenden Temperatur, bezogen auf die Dichtigkeit des Quecksilbers $= 1$; daher $\frac{b}{s} = H$ eine Luftsäule von überall gleicher Dichtigkeit und der Höhe H; mit einem Worte: die Geschwindigkeitshöhe der Luft beim Einflusse derselben in den leeren Raum. H hat für Gase dieselbe Bedeutung, welche der Ausdruck $\frac{E}{s}$ für feste und tropfbar-flüssige Körper hat.

503. Die Ausdrücke b und s, nämlich Luftdruck und Luftdichte, stehen in einer solchen Beziehung zu einander, dass bei unveränderlicher Temperatur, jede Aenderung des einen, gleich-

mässig auch den andern trifft. Der Quotient $\frac{b}{s} = H$ ist daher für ein und dasselbe Gas ein unveränderlicher Werth. D. h. die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung in einer Luftsäule ist unabhängig von den Aenderungen ihrer Spannkraft und Dichtigkeit. Sie bleibt gleich, in der Meereshöhe und zwischen den Gipfeln der höchsten Berge. Aber auch die aufwärtsgehende oder niedersteigende Bewegungsgeschwindigkeit ist unabhängig von der nach oben abnehmenden Dichtigkeit der Luft. Denn man kann sich die Luftmasse zwischen zweien ungleich hoch liegenden Puncten, aus einer Anzahl Schichten bestehend denken, deren jede durch ihre ganze Masse einerlei Dichtigkeit besitzt; die Fortpflanzung muss dann durch jede einzelne dieser Schichten, nach dem Vorhergehenden mit gleicher Geschwindigkeit statt finden.

Dagegen können Temperatur und Feuchtigkeitszustand einen bedeutenden Einfluss auf die Grösse von H erhalten, weil sie die Dichtigkeit und Spannkraft der Luft nicht nach gleichem Gesetze verändern. Eben daher hat V in jedem andern Gase einen verschiedenen Werth, der, wie leicht einzusehen, bei gleichem Drucke b, der Quadratwurzel aus der Dichtigkeit umgekehrt proportionirt ist.

Ist b als Quecksilbersäule bei o' ausgedrückt, so findet man für trockne Luft: $H''' = \frac{10467\ (273 + t)}{273}$. 336,9; (209)

504. Bei der Berechnung der Formel

$$V = \sqrt{\frac{g\,b}{s}}$$

ist die Luft als ein elastisches Mittel von beständiger Temperatur vorausgesetzt worden. Nun erwärmt sich aber die Luft bei der Verdichtung; durch plötzliche Ausdehnung kühlt sie sich ab; und in beiden Fällen muss der Unterschied der elastischen Wirkung zwischen benachbarten Luftschichten, von welchen die eine stärker verdichtet oder verdünnt worden ist als die andere, zunehmen. Von diesem Unterschiede hängt aber die Geschwindigkeit v ab. Dieselbe muss folglich grösser sein, als die oben berechnete. In der That findet man $V = \sqrt{1{,}421\ \frac{g\,b}{s}}$.

Ein beliebiges Luftvolum U bei 0° und 336,9‴ Druck genommen, wird bekanntlich für $^1/_{273}$ Verdichtung oder Ausdehnung um 0,421° über 0° erwärmt oder darunter abgekühlt (No. 203).

Gesetzt, die wirklich eingetretene sehr kleine Volumänderung sei u, oder in 273stel von U ausgedrückt, $\left(\text{da } U : u = 273 : 273\frac{u}{U}\right)$, $273\frac{u}{U}$, so

ist die entsprechende Temperatur-Aenderung:

$$t = 273 . \frac{u}{U} . \ 0{,}421.$$

Das Luftvolum U, das durch Verdichtung der Ausdehnung, bei ungeänderter Temperatur die Spannkraft $b \pm \delta b$ annehmen würde, gelangt vermöge der Temperatur-Aenderung t zu der Spannkraft $B = \frac{273 \pm t}{273} (b \pm \delta b)$, oder indem für t der vorher gefundene Werth gesetzt wird:

$$B = \left(1 \pm 0{,}421 \frac{u}{U} \right) b \ (1 \pm \delta)$$

Denkt man sich nun wieder wie früher (No. 497) l in n Schichten zerlegt, von welchen die erste, die Volums-Aenderung $\frac{\delta l}{n}$ erfährt, während die Bewegung um die Länge l fortschreitet, so ist für diesen Fall $U = \frac{l}{n}$ und $u = \frac{\delta l}{n}$, folglich $\frac{u}{U} = \delta$; und $B = (1 \pm 0{,}421 \ \delta) \ (1 \pm \delta) \ b = b \pm 0{,}421 \ \delta b \pm \delta b + 0{,}421 \ \delta^2 b$. Man hat dann, für Werthe von δ, welche erlauben, den letzten Theilsatz zu vernachlässigen, die bewegende Kraft: $x = B - b = \pm \delta b \ (1 + 0{,}421) = \pm 1{,}421 \ \delta b$; (No. 502)

folglich $t = l \sqrt{\frac{1{,}421 \ g b}{s}}$ und $V = \sqrt{1{,}421 \ \frac{g b}{s}}$.

505. Das ganze Stück einer Luftsäule, dessen Theile unter dem Einflusse einer Erschütterung gleichzeitig in Bewegung sind, wird Luftwelle genannt. Ihre Länge ist gleich dem Wege um welchen sich die Bewegung fortgepflanzt hat, während die erzeugende Ursache, z. B. der Kolben in dem vorher gewählten Beispiele einen Hin- und Hergang vollendete. Die ganze Luftwelle besteht hiernach aus einem verdichteten und einem verdünnten Theile, welche durch eine momentan ruhende Luftschicht von natürlicher Dichte von einander getrennt sind. Die Zeit in der die Wellenbewegung um eine ganze Wellenlänge fortschreitet, beträgt:

$$T = 4t = 4l \sqrt{\frac{s}{1{,}421 \ g b}},$$

wenn man die frühere Bezeichnungsweise, wobei l den vierten Theil der Wellenlänge ausdrückt, beibehalten will.

Die Länge der Welle ändert sich mit der Zeit T, in welcher die erzeugende Ursache eine Hin- und Herschwingung vollendet.

506. Verdichtung oder Verdünnung an irgend einem beliebigen Puncte des Luftraums hervorgebracht, strebt nach dem bekannten Gesetze des Gleichgewichtes elastisch-flüssiger Körper sich nach jeder Richtung auszubreiten. Wenn daher auch die in Folge einer Erschütterung erregte Luftbewegung, sich im Sinne

des ersten Eindrucks, wenigstens anfangs am stärksten fortpflanzt, so muss doch, da die Bewegung der Luft nicht ohne Aenderung ihrer Dichte vor sich gehen kann, zugleich auch eine Seiten - Mittheilung statt finden. Da aber ferner die Schnelligkeit dieser Mittheilung nicht von der Stärke des Eindrucks, sondern (wie vorher bewiesen wurde) nur von der Beschaffenheit des Mittels abhängig ist, so folgt, dass die Wellenbewegung in einer Luftmasse von gleichförmiger Temperatur vom Mittelpuncte der Erregung aus nach allen Richtungen nicht nur mit gleicher Geschwindigkeit fortrückt, sondern auch dass alle in der Nähe der Quelle etwa vorhandenen Unterschiede der Intensität, während des Fortschreitens der Welle allmählig verschwinden.

Mehrere, z. B. durch Schwingungen eines elastischen Blättchens erzeugte, auf einander folgende Luftwellen bilden also um die Erregungsstelle gleichsam concentrische Kugelschalen, deren Dicke gleich ist und je einer Wellenlänge gleichkommt.

Wegen des Bestrebens der Lufttheile, ihren Spannungszustand ringsum auszubreiten, kann man jeden Punct der fortrükkenden Welle gleichsam selbst wieder als Erzeugungsstelle einer Welle (Elementarwelle) betrachten, deren Länge derjenigen der Hauptwelle nothwendig gleich ist. Die von der Hauptrichtung der Bewegung abweichenden Wirkungen dieser Elementarwellen heben sich mehr und mehr wechselseitig auf, jemehr die in gleichen Phasen schwingenden Theilchen einerlei Spannungszustände annehmen.

Der Umfang der kugelförmigen Wellenoberfläche wächst mit dem Fortschreiten der Welle. Da nun die Summe der in einer Welle vorhandenen lebendigen Kräfte, d. i. das Product der Masse der schwingenden Theilchen in das Quadrat ihrer Geschwindigkeit unverändert bleiben muss, so begreift es sich, dass die Intensität der Bewegung, welche für gleiche schwingende Massen dem Quadrat der Geschwindigkeit, oder was dasselbe sagt: dem Quadrate der Schwingungsweite proportional ist, umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung von der Erschütterungsstelle abnehmen muss. Die Schwingungsweite selbst vermindert sich im einfachen umgekehrten Verhältnisse des Abstandes.

507. Uebertritt der Wellen aus einem Mittel in das andere. — Wenn eine Welle an der Gränzfläche zweier Mittel ankommt, so theilt sie sich (No. 499) nach Gesetzen, die aus denen des elastischen Stosses als nothwendige Folgen hervorgehen. Ein Theil der Bewegung wird auf das andere Mittel übertragen und erzeugt darin Schwingungen von gleicher Periode mit der ursprünglichen. Ein anderer Theil wird zurückgeworfen. Derselbe ist um so beträchtlicher, je grösser die Verschiedenheit in der Elasticität und Dichtigkeit beider Mittel.

Wie viel von der Bewegung fortschreitet und wie viel zurückgeworfen wird, lässt sich, wenn die Elasticität und Dichtigkeit beider Mittel bekannt ist, durch Rechnung bestimmen; da nach den Gesetzen des Stosses, nicht nur die lebendige Kraft, sondern auch die Grösse der Bewegung, vor und nach dem Uebergange der Welle in das andere Mittel, gleich sein muss. Aus diesen Bedingungen ergeben sich zwei Gleichungen von der Form:

$$v^2 m = v'^2 m' + v''^2 m \text{ und } vm = v'm' + v''m,$$

welche dienen können, um die Unbekannten v' und v'' abzuleiten.

Nun ist die grösste Geschwindigkeit eines schwingenden elastischen Theilchens gleich $\delta \sqrt{g \frac{E}{s}}$, wenn δl die Schwingungsweite bezeichnet (No. 497.) Es ist ferner die Länge einer Welle:

$$l = t \sqrt{g \frac{E}{s}}.$$

Die für gleiche Schwingungszeiten (t) in verschiedenen Mitteln mit ihren grössten Geschwindigkeiten schwingenden Massen verhalten sich wie die Producte der Wellenlängen in die Dichtigkeiten der Stoffe; daher wie

$$s \sqrt{\frac{E}{s}} : s' \sqrt{\frac{E'}{s'}}.$$

Diese Werthe in die obigen Gleichungen gesetzt, erhält man:

$$\delta^2 E \sqrt{\frac{E}{s}} = \delta'^2 E' \sqrt{\frac{E'}{s'}} + \delta''^2 E \sqrt{\frac{E}{s}} \text{ und}$$

$$\delta E = \delta' E' + \delta'' E \text{ woraus sich ergibt:}$$

$$\delta' = \frac{2\delta E}{E' \left(1 + \sqrt{\frac{Es}{E's'}}\right)} \text{ und } \delta'' = \delta - \frac{2\delta}{1 + \sqrt{\frac{Es}{E's'}}}$$

$\delta' . l'$ und $\delta'' . l$ geben das Verhältniss der Schwingungsweite des fortschreitenden und des zurückgeworfenen Wellentheils zur Schwingungsweite $\delta . l$ der ursprünglichen Welle. Dieselben Werthe zum Quadrat erhoben und beziehungsweise mit den schwingenden Massen multiplicirt, zeigen das Verhältniss der Schwingungsintensitäten beider Wellentheile zu derjenigen der ursprünglichen Welle, welche durch

$$\delta^2 E \sqrt{\frac{E}{s}} = J$$

ausgedrückt ist.

Man findet

$$\delta' l' = \delta l \frac{2\sqrt{Es}}{\sqrt{E's'} + \sqrt{Es}},$$

und

$$\delta'' l = \delta l \frac{\sqrt{Es} - \sqrt{E's'}}{\sqrt{Es} + \sqrt{E's'}}.$$

Die Intensität der fortschreitenden Welle ist:

$$\frac{4\sqrt{Es} \times \sqrt{E's'}}{(\sqrt{Es} + \sqrt{E's'})^2} J = J';$$

Die der zurückgeworfenen entspricht dem Unterschiede:

$$J - J' = J \frac{(\sqrt{Es} - \sqrt{E's'})^2}{(\sqrt{Es} + \sqrt{E's'})^2}.$$

Man erkennt nun leicht, dass eine Welle aus einem Mittel in das andere nur dann ungestört übergeht, wenn

$$E's' = Es.$$ Es ist dann $\delta' l' = \delta l$ und $J' = J$.

In allen andern Fällen findet eine theilweise Zurückwerfung statt. Die Intensität der zurückgeworfenen Welle ist um so grösser, je grösser die Verschiedenheit zwischen Es und $E's'$, gleichgültig übrigens ob Es oder $E's'$ die grössere Zahl sei.

So wird die Luftwelle von einer harten Wand, aber auch umgekehrt die durch ein Mittel von grosser elastischer Kraft fortschreitende Welle an der Gränze desselben gegen Luft, grösstentheils zurückgeworfen. Eine vollständige Reflexion ereignet sich an der Gränze des leeren Raumes, wenn nämlich $E's' = o$ wird.

Je nachdem Es oder $E's'$ die grössere Zahl, wird $\delta'' l$ positiv oder negativ. D. h. die durch Reflexion bewegten Theilchen schwingen in derselben Richtung wie früher, oder in entgegengesetzter Richtung. Im ersten Falle, also wenn $Es > E's'$, wird die anstossende Verdichtungswelle als Verdünnungswelle reflectirt, und umgekehrt. Im andern Falle kehrt die Welle nach dem Anstosse in die frühere Ordnung zurück.

So wird die in einem elastischen Stabe oder in einer elastischen Säule fortschreitende Welle, wenn ihr verdichteter Theil voran ist, vom Befestigungspuncte in derselben Ordnung, vom freien Ende hingegen in umgekehrter Ordnung (d. i. den verdünnten Theil voran) zurückgeworfen (No. 499). Aus demselben Grunde muss die an einer festen Wand anstossende Luftwelle, nach dem Stosse in der früheren Ordnung zurückkehren. Kommt aber eine in kalter Luft fortschreitende Welle an einer warmen oder feuchten und dadurch bei gleichem Barometerstande dünneren Luftschichte an, so findet eine Zurückwerfung in umgekehrter Ordnung statt.

XI. Erzeugung und Fortpflanzung des Schalls.

508. Schwingende Körper aller Art erzeugen, wenn ihre periodische Hin- und Herbewegung in der Luft vor sich geht, Luftwellen, welche, wenn sie sich bis zu unserem Gehörorgan fortpflanzen, dasselbe nöthigen, Schwingungen von gleicher Periode zu machen (No. 36). Diese Schwingungen innerhalb gewisser Gränzen der Dauer werden bei hinreichender Stärke als Schall empfunden.

So empfindet das Ohr durch Vermittlung von Luftwellen die Schwingungen einer gespannten Saite, eines elastischen Stabes, einer angeschlagenen Glocke u. s. w.

Man überzeugt sich zunächst leicht, dass ohne einen derartigen Vorgang kein Schall vernommen wird. Durch leise Berührung der angestossenen Saite oder der angeschlagenen Glocke fühlt man die Vibrationen derselben, während man den Schall hört. Dieser erlischt aber sogleich, wenn durch stärkeren Druck auf die Glocke ihre Schwingungen unterbrochen werden.

Um ferner zu beweisen, dass der Schall durch Vermittlung der Luft vernommen oder zum Ohre geleitet wird, hänge man eine Glocke, die durch ein Uhrwerk fortdauernd angeschlagen wird, an locker gedrehte und dadurch sehr wenig elastischen Fäden unter dem Recipienten der Luftpumpe auf. Während des Auspumpens vermindert sich der Schall und hört, nachdem der grösste Theil der Luft aus dem inneren Raume entfernt worden, endlich ganz auf. Er wird aber sogleich wieder hörbar, wenn Luft oder ein anderer gas- oder dampfförmiger Körper zugelassen wird. Steht die schallende Glocke unmittelbar auf dem Teller der Luftpumpe, so kann der Schall durch Entfernung der inneren Luft nicht zernichtet werden; weil die Schwingungen der Glocke sich jetzt ungehindert auf ihre feste Unterlage übertragen können und sich durch diese wieder zur äusseren Luft und so fort bis zum Ohre fortpflanzen.

Luft und andere Gase leiten den Schall um so besser, je dichter sie sind. So hört man das Tönen der Glocke unter einem mit Luft oder Kohlensäure gefüllten Recipienten viel deutlicher, als wenn derselbe Wasserstoff von gleicher Spannkraft enthält. Eben so ist in den höheren Luftschichten, auf der Spitze sehr hoher Berge, der Schall weniger intensiv als in den unteren Schichten der Atmosphäre.

509. Die Luftwellen bilden das gewöhnliche Hülfsmittel schwingende Bewegungen auf das Gehörorgan zu übertragen. Aber auch jeder andere Körper ist fähig, als Schallmittel zu dienen, insofern er nur elastisch genug ist, um die Schwingungen aufnehmen und durch seine Masse fortpflanzen zu können. Feste und flüssige Körper, wegen ihrer grösseren Dichtigkeit, leiten sogar in der Regel besser als die Luft.

Wird eine lange Stange an einem Ende mässig gerieben, während man das andere Ende in der Nähe des Ohrs gegen den Kopf lehnt, so hört man das Geräusche des Reibens durch die Stange besser als durch die Luft, selbst dann, wenn die Oeffnungen beider Ohren verstopft sind, also der Zutritt des Schalls durch Luftwellen gar nicht mehr möglich ist. — Erschütterungen des Bodens, z. B. durch die Bewegung eines Reitergeschwaders, durch das Abbrennen der Geschütze, durch vulkanische Ausbrüche bewirkt, werden bekanntlich durch die feste Masse der Erde auf weit grössere Entfernungen als durch die Luft fortgeleitet. Das Getöse des Vulkans Cosiguina in Nicaragua, während seines Ausbruchs am 20. Januar 1835 wurde in Jamaika, Carthagena, Santa Marta in Neu-Granada und Santa Fe de Bogota, in einem Umkreise von 200 deutschen Meilen vernommen. — Das Anschlagen einer Glocke unter Wasser hörten Colladon und Sturm durch die ganze Breite des Genfer Sees.

510. Die Eindrücke auf unser Gehörorgan, um vom Bewusstsein als Schall empfunden zu werden, müssen sich wiederholen. Eine einzige Schwingung, ein einziger Pendelschlag, obschon er eine Luftwelle fortsendet, ist unfähig einen Schall zu erzeugen.

Wenn das Ohr von einer Folge gleichgeordneter und gleichlanger Wellen (Schallwellen) getroffen wird, so empfindet es die Regelmässigkeit in der Periode dieser Eindrücke als Ton. So hört man den Ton einer gespannten, schwingenden Saite, weil ihre gleichdauernden Hin- und Herbewegungen einen zusammenhängenden Zug von Luftwellen erzeugen müssen, die dann, indem sie bis zum Ohre vordringen, in gleicher Folge eine entsprechende Anzahl Stösse auf dasselbe ausüben. In derselben Weise vollendet jeder tönende Körper eine Reihe isochroner Schwingungen, deren Intensität hinlänglich gross ist, um Eindrücke bis auf das Organ des Gehörs fortpflanzen zu können. Aber auch ohne die Gegenwart eines tönenden, d. h. schwingenden Körpers, kann ein Ton gehört werden, wenn die Luft auf irgend andere Art, schnell auf einander und in gleichen Zeiträumen erfolgende Stösse erhält, so dass eine Reihe gleich langer Schallwellen entstehen muss.

511. Das Ohr erkennt bei den Tönen dreierlei wesentliche Verschiedenheiten: ihre Höhe oder Tiefe, ihre Stärke, ihren Klang.

Die Höhe oder Tiefe hängt ab von der Schwingungsdauer des tönenden Körpers. Der Ton erscheint um so höher, je kürzer die Dauer der Schwingungen, je mehr Schwingungen also in einer Sekunde vollendet werden, eine je grössere Folge von Stössen in derselben Zeit das Gehörorgan treffen.

Die Stärke des Tons wird bedingt durch die Stärke der einzelnen Stösse; welche ihrerseits wieder von dem Abstande des schallenden Körpers, von der Anzahl materieller Theile, die an seinen isochronen Vibrationen Theil nehmen, so wie endlich von der Weite dieser Schwingungen abhängig sind. Die Weite der Schallschwingungen, ihre Schwingungsgeschwindigkeit hat übrigens nicht den geringsten Einfluss auf die Höhe der Töne.

Die Töne lassen noch eine dritte Verschiedenheit, den Klang (timbre) erkennen. Sehr leicht unterscheidet man z. B. den Klang des Silbers vor dem des Goldes oder Blei's. Das Klavier, die Violine, die Guitarre klingen verschieden, auch bei solchen Tönen, bei welchen das geübteste Ohr keine Verschiedenheit in der Höhe bemerkt.

Das Abweichende dieser Töne liegt nicht in der Anzahl Schwingungen, welche in gleichen Zeitabschnitten erfolgen, sondern in der Art, nach welcher die Schwingungen vor sich gehen, sich auf die Luft übertragen und durch diese dem Gehörorgan mittheilen. Es ist einzusehen, dass diese Art, d. h. das Gesetz des Uebergangs aus der Ruhe zur grössten Geschwindigkeit und wieder zurück zur Ruhe, je nach der Beschaffenheit des schallenden Körpers sehr verschieden, bei gleicher Schwingungsdauer dennoch durch Curven sehr abweichender Krümmung ausgedrückt sein kann. Mit Wahrscheinlichkeit darf man übrigens voraussetzen, dass ein Ton dem Ohre um so wohlgefälliger und reiner klingt, je regelmässiger der Lauf jener Curve

ist, durch welche das Schwingungsgesetz des tönenden Körpers dem Auge versinnlicht wird.

Die Ausdrücke: Schnarren, Rasseln, Schnurren, Sumsen u. a. m. bezeichnen Töne von unreinem Klang.

Schalleindrücke, die durch Wellenzüge von ungleichartiger Beschaffenheit hervorgebracht sind und so rasch aufeinander folgen, dass sie das Ohr nicht getrennt unterscheiden kann, werden nicht als Ton, sondern als Geräusche, oder wenn die Eindrücke sehr heftig sind, als Getöse empfunden.

Ein Knall entsteht, wenn die erzeugende Ursache bei zwar grosser Heftigkeit nur eine kurze Zeit in Wirksamkeit bleibt, so dass nur wenige Schwingungen gebildet und fortgepflanzt werden. Der Schall, bewirkt durch einen einzelnen Stoss oder Schlag ist um so kürzer, je inniger der erschütterte Körper mit grösseren Körpermassen zusammenhängt, je rascher daher die ihm eingeprägte Bewegung, durch Uebergang auf andere Materie ihre Intensität verliert. Daher muss eine Glocke oder eine Metallplatte, welche durch Anschlag tönen soll, möglichst frei schweben. Daher muss im Allgemeinen die äussere Einwirkung, welche die schwingende Bewegung eines tönenden Körpers hervorbringt, sich wiederholen, wenn der Ton dauernd erhalten werden soll. —

512. Man hat verschiedene Hülfsmittel, die Anzahl der Schwingungen zu zählen, welche einem Tone von bestimmter Höhe angehören. Savart (Pogg. Ann. 20. S. 290) benutzte hierzu eine nach Art der Kreissäge gezahnte Scheibe von Messing die auf horizontaler Axe befestigt, mittelst Seilleitung eine sehr grosse Umdrehungsgeschwindigkeit erhalten konnte. Ein dünner Körper, z. B. ein Kartenblatt, gegen den Umfang dieses Rades gehalten, wird während der Umdrehung von einem Zahne nach dem andern ergriffen, gebogen und wieder sich selbst überlassen, so dass es eine regelmässige Hin- und Herbewegung annehmen, und für jede Umdrehung so viele Doppelschwingungen machen muss, als das Rad Zähne hat. Jeder Doppelschwingung entspricht dann eine ganze, d. h. aus einem verdichteten und einem verdünnten Theile gebildete Luftwelle. Man erhält mit diesem Apparate nach kurzer Uebung in der Anstellung des Versuchs, einen reinen und starken Ton, der sich erhöht und senkt, je nachdem die Umdrehungsgeschwindigkeit grösser oder kleiner wird. Aus der Zahl der Umdrehungen (a. a. O. S. 297), welche bei gleichförmiger Bewegung auf eine Sekunde fallen, multiplicirt mit der Summe der Zähne des Rades ergibt sich die Anzahl der Schwingungen, welche dem gehörten Tone entsprechen. Auf diese Weise fand Savart mit einem Rade, das 82 Centim. im Durchmesser hielt und 720 Zähne auf dem Umfange trug, dass 24000 Schläge auf das Kartenblatt, also 48000 einfache Schwingungen desselben während einer Sekunde, noch einen deutlich vernehmbaren Ton hervorbringen. Savart hält dies aber keineswegs für die Gränze der hohen Töne. Um noch höhere Töne hervorzubringen, würde es nach ihm nur darauf ankommen, den Schwingungen, von welchen sie abhängen, eine hinreichende Intensität zu geben.

Dasselbe gilt für die tiefen Töne. Um tiefe Töne von starkem Umfange zu erhalten, setzte er einen Eisenstock von $2\frac{1}{2}$ Fuss Länge, 2 Zoll Breite und 6 Linien Dicke in gleichförmige Umdrehung, und zwar um eine Axe, die durch die Mitte desselben, senkrecht gegen die Längenrichtung und Dicke hindurchgeht. Senkrecht durch die Drehungsebne des Stabs und in der

Richtung eines ihrer Durchmesser geht ein Brett, welches einen Ausschnitt enthält, der von dem Stabe während seines Durchgangs fast ausgefüllt wird. So oft er durchschlägt, was bei jeder Umdrehung zweimal geschehen muss, entsteht ein Knall, dessen Intensität mit der Geschwindigkeit der Umdrehung in sehr auffallender Weise zunimmt. Savart (Pogg. Ann. 22. S. 596) bemerkte, dass sich die Einzelwirkungen schon bei 7 bis 8 Schlägen auf eine Sekunde, entsprechend einer gleichen Anzahl ganzer Luftwellen, zu einem anhaltenden sehr tiefen Tone vereinigten. Diess war zugleich der tiefste Ton, welchen er hören konnte.

Eine andere Anordnung um Luftwellen von gleicher Periode zu erzeugen, deren Zahl leicht und bequem geändert und doch zugleich gezählt werden kann, ist die von Cagniard Latour ersonnene Sirene*). Sie besteht im Wesentlichen aus einer Scheibe, drehbar um ihren Mittelpunct und am Rande ringsum versehen mit Oeffnungen oder Ausschnitten von gleicher Grösse, die in gleichen Abständen auf einander folgen. Gegen diese Löcherreihe wird, während sich die Scheibe dreht, mittelst eines Glasrohrs, dessen Mündung wenig enger ist, als die Löcher, ein Luftstrom gerichtet, der abwechselnd hindurch dringend und wieder aufgehalten eine Reihe von Stössen und folglich eine eben so grosse Anzahl Luftwellen erzeugen muss. Es ist nun einleuchtend dass die Höhe des hierdurch entstehenden Tons von der Anzahl Luftstösse abhängt und dass diese, ähnlich wie bei dem Zahnrade aus der Umdrehungsgeschwindigkeit und der Zahl der Oeffnungen in der Scheibe bestimmt werden kann.

Die Drehung der Scheibe kann durch den Luftstrom selbst geschehen, wenn (bei 2 bis 3 Linien Dicke der Scheibe) die Löcher schief eingeschnitten sind. Um auch bei sehr grosser Umdrehungsgeschwindigkeit die Anzahl der Luftstösse sicher auffinden zu können, hat Cagniard Latour eine mechanische Vorrichtung zum Zählen derselben mit dem Apparate verbunden.

513. Ein zwar weniger anschauliches aber viel feineres Hülfsmittel die Schwingungszahl der Töne zu messen, bietet eine gespannte Saite. Ihre Schwingungsdauer ist durch die Formel:

$$T = 2l \sqrt{\frac{f \cdot s}{g \cdot P}}$$

ausgedrückt.

Diese Formel wurde mit Zugrunde-Legung der allgemeinen Elasticitätsgesetze theoretisch entwickelt (No. 491). Direkte Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen an gespannten Fäden, bewährten ihre Richtigkeit. Eine neue, schärfere Controlle gewinnt man durch Vergleichung mit den vorher beschriebenen Tonmessern.

Hat man eine Saite von überall gleichartigem Stoff und gleicher Dicke, von genau abgemessener Länge (l) und bekanntem Gewichte $q = f \cdot s \cdot l$ durch ein ebenfalls bekanntes Gewicht P gespannt, so ist nach dem Ausspruche obiger Formel die Zahl der Schwingungen, die sie in einer Sekunde vollendet:

---

*) Ann. ch. phy. XII., 167. XVIII. 438. XXXV. 42.
Abänderungen von Seebeck sind beschrieben in Pogg. Ann. 53. S. 417.

$$\frac{1}{T} = n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{gP}{fs}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{gP}{lQ}}.$$

Wird nun mittelst der Sirene oder des gezahnten Rades ein Ton hervorgebracht, welcher nach dem Urtheil des Ohres dieselbe Höhe hat wie der der schwingenden Saite, so findet man durch die direkte Bestimmung der Anzahl Schallwellen dieselbe Zahl n, zu welcher die obige Rechnung geführt hatte. So kann man sich auf experimentellem Wege überzeugen, dass die Schwingungsmenge gespannter Saiten sich verhält: umgekehrt wie ihre Länge, direkt wie die Quadratwurzel aus dem spannenden Gewichte und bei gegebener Länge, umgekehrt wie die Wurzel aus dem Gewichte der Saite. Saiten aus verschiedenen Stoffen, bei gleicher Länge und Spannung können nur dann gleich schwingen, wenn auch ihre Gewichte gleich sind.

Zu Schwingungsversuchen mit gespannten Saiten gebraucht man eine eigens hierzu eingerichtete Geräthschaft, das Monochord. Ein Kasten von etwa 4 Fuss Länge, aus nicht zu dickem, übrigens festem und trocknem Holze gefertigt und an den Seitenwänden oder am Boden mit einigen Oeffnungen versehen, ist mit einem dünnen Brettchen aus Tannenholz gedeckt, welches den Zweck hat, als Resonanzboden zu dienen. Darüber geht eine Saite, am einen Ende mittelst eines Wirbels, oder durch Einklemmen befestigt, am andern Ende um eine leicht bewegliche Rolle geschlungen und durch angehängte Gewichte gespannt. Der Saite entlang läuft ein Massstab, mit dessen Hülfe genau abgemessene Stücke des der gespannten Saite entweder durch Unterschiebung von Stegen oder mittelst Klemmschrauben, von welchen die eine feststehen kann, die andere aber beweglich sein muss, abgesondert und so dem Versuche unterworfen werden können. Gewöhnlich ist der Kasten breit genug, um mehrere, bis zu 4 Saiten neben einander darauf aufspannen zu können.

Die schwingende Bewegung der angestossenen Saite theilt sich durch die Befestigungspuncte dem Resonanzboden mit, wodurch dieser genöthigt wird, Schwingungen von gleicher Periode zu machen (No. 507). Die Stärke des Tons wird auf diese Weise sehr bedeutend vergrössert.

W. Webers Monochord (Tonmesser) zum Gebrauche für sehr feine Messungen ist beschrieben und abgebildet in Pogg. Ann. B. 15.

Die Schwingungsgesetze gespannter Fäden setzen eine vollkommene Biegsamkeit des Stoffes voraus. Diese ist jedoch nur bei dünnen und langen Saiten in genügendem Grade vorhanden. Bei dicken und kurzen Saiten weicht die wirkliche Tonhöhe von der durch Rechnung bestimmten merklich ab.

Wird eine gespannte Saite in der Mitte lose mit dem Finger berührt, dann nur ihre eine Hälfte vorsichtig mit dem Fiedelbogen gestrichen, so gerathen gleichwohl beide Hälften in Schwingung. Aber die Tonhöhe entspricht der doppelten Schwingungszahl der frei schwingenden Saite. Hieraus geht hervor, dass an der berührten Stelle sich ein Knotenpunct gebildet haben musste (No. 496).

Sondert man durch Berührung mit dem Finger einen beliebigen ganzen Bruchtheil, z. B. den dritten oder vierten Theil u. s. w. von der Saite ab, und streicht diesen, so kommt auch in diesem Falle die ganze Saite zum Schwingen. Die Tonhöhe entspricht aber derjenigen, welche der abgesonderte Theil für sich geben musste. Legt man in dem doppelten, dreifachen Abstande der berührten Stelle u. s. w. kleine Papierstücken auf die Saite,

so bleiben sie, während letztere zum Tönen gebracht wird, nur an den bezeichneten Puncten in Ruhe, werden aber von andern Stellen, auf die man sie legt, herabgeschleudert. Die Saite zerfällt also in gleiche Abschnitte, welche durch Knotenpunkte getrennt sind.

514. Die Dauer der Längenschwingungen in elastischen Säulen und Stäben wurde früher (No. 500) aus den Gesetzen der Elasticität entwickelt und dafür

$$T = 2l \sqrt{\frac{s}{gE}}$$

gefunden.

Die Schwingungszahl in einer Sekunde soll hiernach

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{gE}{s}}$$

betragen.

Stäbe von Glas, Holz, Metall können kräftige und wohlklingende Töne geben, wenn man erstere mit nassem Wollenzeug, die beiden letzteren mit trocknem Tuche, das mit Colophonium-Pulver bestreut ist, der Länge nach reibt. Je nach der Art des Reibens erhält man aber aus demselben Stabe Töne von verschiedener Höhe.

Werden zwei Stäbe von gleicher Masse und gleicher Länge, aber ungleicher Dicke, entweder beide frei in der Hand gehalten, oder beide am einen Ende eingeklemmt, so findet man, dass der tiefste Ton, welchen sie geben können, bei beiden derselbe ist, mögen sie übrigens prismatisch oder cylindrisch, von gleicher oder ungleicher Dicke, gefüllt oder hohl sein. D. h. die Schwingungsdauer ist unabhängig von der Grösse und Form des Querschnittes, ganz so wie es das Elasticitätsgesetz verlangt.

Vergleicht man die tiefsten Töne bei gleichartigen Stäben von verschiedener Länge, so ergibt sich, dass ihre Schwingungszahlen, wie bei den gespannten Saiten, im umgekehrten Verhältnisse der Länge zunehmen.

Die ungleich hohen Töne, welche ein und derselbe Stab geben kann, stehen in einer festen und unveränderlichen Beziehung zu einander. Ihre Schwingungszahlen verhalten sich, vom tiefsten Tone ausgehend, wenn der Stab frei gehalten oder an beiden Enden befestigt wird, wie 1 : 2 : 3 : 4 u. s. w., oder wenn er am einen Ende festgeklemmt ist, wie 1 : 3 : 5 u. s. w., ohne dass es möglich ist, mittlere Töne hervorzubringen. Dieses Verhalten ist leicht erklärlich, wenn man sich dessen erinnert, was früher (No. 500) über die Knotenlinien in elastischen Stäben gesagt worden ist. Eben so verständlich ist es, dass die Schwingungszahl des tiefsten Tons, wenn der Stab frei gehalten wird, doppelt so gross ist, als wenn er am einen Ende fest ist.

Die Tonhöhen gleich langer Stäbe aus verschiedenartigen

Stoffen verhalten sich umgekehrt wie die Wurzeln aus den Dichtigkeiten der Stoffe.

Das oben erwähnte Gesetz der Längenschwingungen elastischer Massen wird also durch die Tonverhältnisse longitudinal schwingender Stäbe in allen Puncten bestätigt. Auch die direkte Zählung der Längenschwingungen eines Stabs, welche Werthheim (Pogg. Ann. Ergänz. II. 13) mittelst eines ihm eigenthümlichen Apparates (483) ausgeführt hat, lieferte fast genau die aus der Tonhöhe abgeleitete Schwingungszahl. Die aus der Tonhöhe schwingender Stäbe berechneten Elasticitätscoefficienten stimmen gleichwohl mit den durch Dehnung gefundenen nicht ganz überein. Der wahrscheinliche Grund ist schon früher berührt worden.

515. Die Längenschwingungen prismatischer und cylindrischer Stäbe sind stets von Querschwingungen begleitet, ohne dass beide Schwingungsarten sich wechselseitig stören. Die letzteren werden vorherrschend, wenn mit dem Bogen rechtwinklig gegen die Länge gestrichen wird. Auch in diesem Falle kann man Töne von verschiedener Höhe erhalten. Sie sind von Knotenlinien abhängig, die bei flachen Stäben, welche am einen Ende sehr fest gespannt sind (z. B. mit Hülfe eines sehr schweren Schraubstocks) durch Aufstreuen von leichtem Sand wahrnehmbar gemacht werden können. Der Sand sammelt sich nämlich an diesen Stellen, als den einzigen, welche in Ruhe bleiben. Der tiefste Ton entsteht, wenn ein Stab ohne Knotenlinien schwingt. Seine Schwingungszahl ist, wie von selbst einleuchtet, unabhängig von der Breite des Stabs; sie steht aber im geraden Verhältnisse seiner Dicke, im umgekehrten zum Quadrate der Länge und im umgekehrten zur Quadratwurzel aus der Dichtigkeit des Stoffs (483). Schwingungen gekrümmter Stäbe; Stimmgabel.

516. Dünne elastische Platten, die an einem oder mehreren Puncten festgehalten werden und durch Streichen, winkelrecht gegen eine Kante in Transversalschwingungen gerathen, bilden Knotenlinien, die durch Streusand sichtbar gemacht, je nach der Gestalt der Platten, der gegenseitigen Lage der Puncte an denen sie befestigt oder mit dem Bogen gestrichen werden, so wie der Höhe des erzeugten Tons mehr oder weniger zusammengesetzte Zeichnungen, die sogenannten Klangfiguren darbieten. Sie lassen sich am leichtesten auf Scheiben von Glas oder Metall darstellen und sind hauptsächlich von Chladni untersucht und beschrieben worden. (Geslers phys. Wörterbuch, neue Bearbeitung. VIII. 226).

Man hat von diesem Verhalten schwingender Scheiben eine sinnreiche Anwendung gemacht, um zu beweisen, dass entgegengesetzte Schallwellen durch Interferenz sich wechselseitig aufheben können.

Wird eine viereckige Scheibe von sehr gleichmässig dickem Messingblech in der Mitte festgeklemmt und in der Nähe eines Ecks so gestrichen,

dass sie ihren tiefsten Ton gibt, so nehmen die Knotenlinien die in Fig. 242 bezeichnete Gestalt an. Es ist vollkommen einleuchtend, dass je zwei durch eine Knotenlinie getrennte Stücke wie *a* und *b* immer entgegengesetzt, zwei nur an einem Puncte zusammenstossende Stücke wie *c* und *b* gleich schwingen müssen.

Fig. 242.

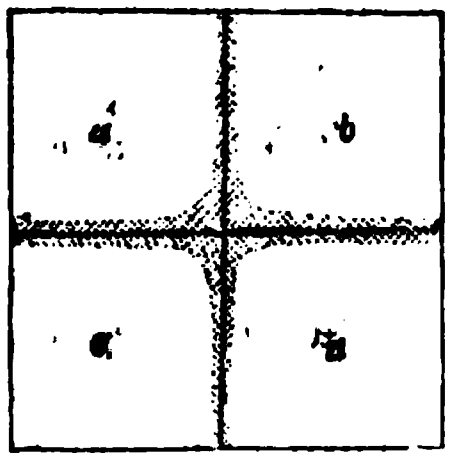
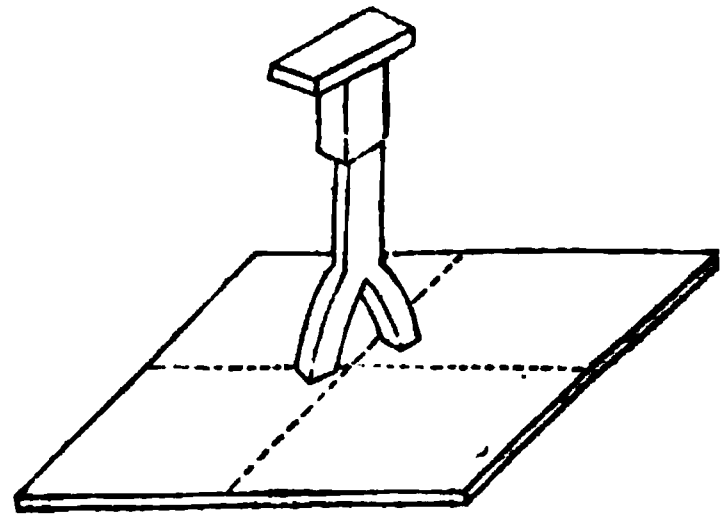


Fig. 243.



Die Fig. 243 stellt eine gabelförmige aus dünnen Brettchen zusammengesetzte Röhre vor, deren beide Schenkel offen sind und deren obere kastenförmige Erweiterung mit Postpapier überzogen ist. Hält man nun die beiden Oeffnungen dieser Röhre nahe über zwei in gleicher Phase schwingende Abtheilungen der mit ihrem tiefsten Tone klingenden Scheibe z. B. über *c* und *b*, so wird Sand, welchen man auf die Papierfläche gestreut hat, durch die Stösse der in die Röhre eindringenden Schallwellen in die Höhe geschleudert. Hält man aber beide Schenkel über die Abtheilungen *a* und *b*, die in entgegengesetzten Phasen schwingen, so bleibt der Sand ruhig liegen.

517. Geschwindigkeit des Schalls. Der Schall wird in jeder Richtung gehört, in welcher die Schallwellen in ihrer Ausbreitung nicht gehindert werden. Jede gerade Linie, welche von der Erzeugungsstelle des Schalls ausgeht oder allgemeiner, welche auf irgend einem Puncte einer Wellenoberfläche senkrecht steht, heisst Schallstrahl. Sie bezeichnet die Richtung nach welcher das betreffende Wellenstück fortschreitet. Die Geschwindigkeit, womit diess in einem gegebenen Mittel geschieht, fällt mit derjenigen zusammen, womit der Schall darin fortgeleitet wird. Aus der Elasticität und Dichtigkeit eines Mittels lässt sich daher die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in demselben durch Rechnung bestimmen.

Die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft ist durch die Formel:

$$V = \sqrt{1{,}415\,\frac{g\,b}{s}}$$

gegeben (504).

Nimmt man die Luft als trocken an und ihre Temperatur gleich 0°, und setzt man nach den neuesten Bestimmungen von Regnault: das Gewicht von 1 Litre Quecksilber = 13595,93 Grm., das Gewicht von 1 Litre Luft bei 0° und 336,9 Linien Druck = 1,293187 Grm., so erhält $\frac{b}{s}$ den con-

stanten Werth: 24596. Daher $V = \sqrt{30{,}1958 \,.\, 24596 \,.\, 1{,}415} = 1027{,}3$ Par. Fuss oder 333 Metre.

Mit der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft ändert sich das Verhältniss $\frac{b}{s}$ und dadurch auch die Schallgeschwindigkeit, wie der Ausdruck:

$$V = 1027{,}3 \sqrt{(1 + 0{,}00366\, t)\left(1 + \frac{6p}{16\, b}\right)}.$$

wo p die Dunstspannung, b den Barometerstand, beide in einerlei Mass bezeichnen.

Direkte Erfahrungen über die Schallgeschwindigkeit sind dadurch gewonnen worden, dass man die Anzahl Sekunden, welche vom Augenblicke des Lichteindrucks einer in bedeutender Entfernung abgefeuerten Kanone, bis zu dem Augenblicke, da der Schall gehört wurde, verflossen, in den geradlinigten Abstand der Kanone von dem Standorte des Beobachters dividirte. Solche Versuche sind schon häufig unternommen worden, (Pogg. Ann. 5. S. 476; 14 S. 375). Sie müssen zur Nachtzeit angestellt werden, weil dann die Luft gewöhnlich am ruhigsten ist. Zugleich ist es nöthig, auf den Stand des Barometers, Thermometers und Hygrometers sorgfältige Rücksicht zu nehmen, Dem Einflusse des Windes sucht man dadurch vorzubeugen, dass die Schüsse an beiden Stationen möglichst gleichzeitig abgefeuert werden. Es wird dann aus beiden Resultaten das Mittel genommen.

Als die zuverlässigsten direkten Beobachtungen gelten die im Jahre 1822 von Pariser Akademikern zwischen Villejuif und Montlhéry bei Paris (Pogg. Ann. 5 S. 477) und im Jahre 1823 von Moll und van Beek (Pogg. Ann. 5 S. 351; 19 S. 115) in der Gegend von Utrecht ausgeführten. Nach den erstern ist die Schallgeschwindigkeit, auf trockne Luft bei 0^0 reducirt 331,05 Metre; nach den letzteren 332,25 Metre. Diese Geschwindigkeit besitzt der Schall nicht nur in Luft von jeder Dichtigkeit (No. 503), sondern auch in aufwärts und abwärts gehender Richtung (Stampfer und Myrbach, Pogg. Ann. 5 S. 496; Bravais und Martins Pogg. Ann. 66 S. 351).

Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in der Luft hat zuerst Newton den Ausdruck

$$V = \sqrt{\frac{g\, b}{}}$$

gegeben. Da jedoch der hiernach berechnete Werth (861,8 P. F. hinter den Ergebnissen der Erfahrung weit zurück blieb, so kam La Place auf den Gedanken, die Ursache dieses Unterschiedes darin zu suchen, dass bei der Rechnung auf die Temperaturveränderungen Rücksicht genommen werden müsse, von welchen plötzliche Dichtigkeitsveränderungen bei Gasen begleitet werden. Die hiernach corrigirte Formel gab nun wirklich ein Resultat, welches mit denen der Beobachtung befriedigend übereinstimmte.

Dulong (Pogg Ann. 16. S 438), indem er als wahrscheinlichsten Werth der Schallgeschwindigkeit die Zahl 3 3 Metre nahm, berechnete hier-

nach das Verhältniss der spec. Wärme der Luft bei constantem Volume, zu dem bei constantem Druck, wie 1 : 1,421. Er hatte damals die Dichtigkeit der Luft zu $\frac{1}{10462}$ von der des Quecksilbers gesetzt. Nach den neuesten Bestimmungen ist aber dieser Werth $\frac{1}{10513,5}$, und hieraus folgt die oben benutzte etwas abweichende Zahl 1,415.

518. Die Geschwindigkeit des Schalls im Wasser lässt sich theoretisch aus der Formel

$$v = \sqrt{\frac{gE}{s}}$$

ableiten.

Der Elasticitätscoefficient des Wassers ist (No. 477) : 218 Kil. auf einen Querschnitt von 1 Quad. Millim. Ein C. Mm. Wasser bei 0^0 wiegt 1 Milligr. Daher die Länge der Wassersäule $\frac{E}{s}$ in Metre ausgedrückt 218000. Hiernach ist $v = \sqrt{9{,}8088 \,.\, 218000}$ = 1462,3 Metre.

Zwischen Rolle und Thonen am Genfer See hat Colladon direkte Versuche über die Schallgeschwindigkeit im Wasser angestellt (Pogg. Ann. 12 S. 171). Die Entfernung beider Stationen betrug 13487 Metre. Sie wurde in 9,4 Sekunden vom Schalle unter Wasser durchlaufen, was einer Geschwindigkeit von $\frac{13487}{9{,}4}$ = 1435 Metre entspricht.

Das Wasser des Genfer See's ist fast chemisch rein. Die Temperatur desselben zur Zeit der Versuche war 8,1°. Seine Dichtigkeit konnte also von der des reinen Wassers bei 0^0 nur unmerklich abweichen.

Die Schallgeschwindigkeit im Wasser übertrifft die in der Luft um mehr als das vierfache.

519. Ueber die Geschwindigkeit des Schalls in festen Körpern ist nur eine einzige Beobachtung bekannt, die sich auf eine Körpermasse von nicht ganz unbedeutender Ausdehnung bezieht. Biot (traité II. 26) hat gefunden, dass sich der Schall einer Glocke durch die feste Masse einer gusseisernen Röhrenleitung von nahe 1000 Metre Länge mit mehr als 10mal grösserer Geschwindigkeit fortpflanzte, als durch die das Rohr ausfüllende Luft. Dieses Resultat, obschon nur ein Näherungswerth, ist genügend, um zu zeigen, dass der Schall durch feste Massen weit schneller als durch die Luft geleitet wird. Indirekte aber wahrscheinlich der Wahrheit sehr nahe kommende Angaben erhält man aus der Schwingungszahl des tiefsten Tones longitudinal schwingender prismatischer

Stäbe. Es werde z. B. ein frei in der Hand gehaltener Stab zum Schwingen gebracht, so entspricht die seinem tiefsten Tone zugehörige Wellenlänge der doppelten Länge des Stabs. Diess ist also der Weg, welchen der Schall in derselben Materie während einer ganzen Schwingungsperiode zurücklegen kann. Die Schwingungszahl des tiefsten Tons mit der doppelten Länge des Stabs multiplizirt gibt also die gesuchte Geschwindigkeit,

Auf diesem Wege hat zuerst Chladin gefunden, dass die Geschwindigkeit des Schalls in Eisen, Stahl, Glas, Tannenholz 15 — 16mal grösser ist, als in der Luft.

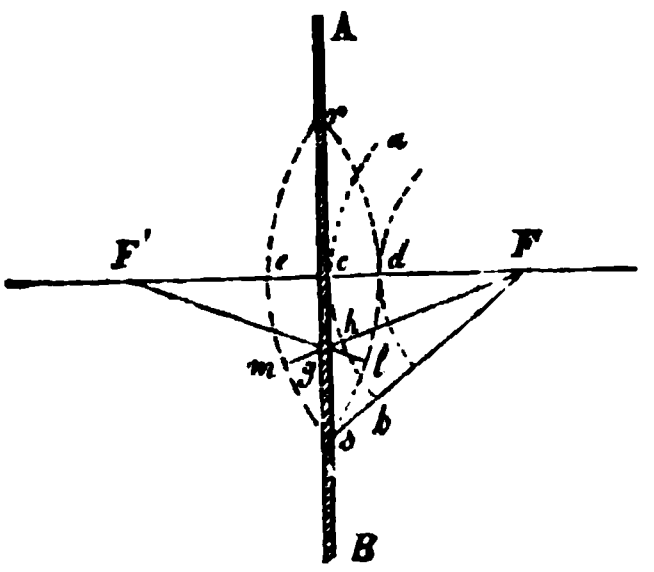
520. Die Geschwindigkeit der Schallwellen ist unabhängig von ihrer Länge. Dieser Satz der unmittelbar aus der Theorie hervorgeht, wird durch die Erfahrung vollkommen bestätigt. Denn wir finden, dass zwei Töne von ungleicher Höhe, die gleichzeitig hervorgebracht worden, z. B. zwei Klaviertöne, die einen musikalischen Akkord bilden, in geringerer wie grösserer Entfernung von der Erzeugungsstelle gleichzeitig gehört werden.

Aus der Kenntniss des Wegs, welchen der Schall in einer Sekunde zurücklegt, lässt sich hiernach die Länge der Wellen bestimmen, welchen er zugehört. Z. B. einer der tiefsten Töne, welche in der Musik gebraucht werden, entspricht 32 Schwingungen in der Sekunde. Diese Zahl mit sich selbst multiplicirt gibt 1024; d. h. in Pariser Fuss gelesen fast genau die Wegeslänge, die der Schall in einer Sekunde in der Luft beschreibt. Die Welle, welche jenem Tone zugehört, ist daher 32 Fuss lang. In der Musik kommen aber auch Töne von 2000 und mehr Schwingungen vor. Die Zahl 1024 durch 2000 dividirt, gibt eine Wellenlänge von nur 0,5 Fuss.

521. Zurückwerfung des Schalls in der Luft. — Wenn die fortschreitende Schallwelle gegen ein widerstehendes Mittel stösst, das wir zunächst als eine ebne Fläche von unbegränzter Ausdehnung betrachten wollen, so findet eine Zurückwerfung statt. Aber verschiedene Theile derselben Wellenoberfläche können nicht gleichzeitig die Wand erreichen. Die Zurückwerfung beginnt daher bei demjenigen Schallstrahle, der von dem Erzeugungspuncte aus gegen die ebne Fläche senkrecht geht, oder der kürzesten Entfernung entspricht. Jeder andere, gegen die Wand geneigte Strahl, wird später zurückgeworfen. Da nun jedes Lufttheilchen, dem durch den Widerstand der Wand seine Bewegung entzogen worden, zugleich entweder eine Verdichtung oder Verdünnung erfahren hat, so lässt sich jeder reflectirende Punct als selbstständige Ausgangsstelle einer Welle betrachten, die sich dann nach bekannten Gesetzen ausbreitet.

Es sei AB (Fig. 244) die zurückwerfende Fläche; abc die eben ankommende Schallwelle; cd ihre Länge; F der Ausgangspunct. Die in die Lage abc eingerückte Welle würde ohne den Widerstand der Wand in der folgenden Schwingungsperiode die Lage res erreichen. Allein in Folge des Stosses ist die bei c zuerst reflectirte Bewegung auf ihrem Rückwege bereits wieder in d angelangt ($ce = cd$) in demselben Augenblicke, da die Puncte r und s der Wellenoberfläche, welche unterdessen einen cd gleichen Weg

Fig. 244.



beschrieben haben, die Wand erreichen und bei ihnen die Zurückwerfung beginnt. Die Bewegung eines jeden andern Theilchens der Welle hat unterdessen, sei es direkt oder durch Reflexion einen eben so grossen Weg (cd) zurücklegen müssen. Z. B. der Strahl $F'h$, welchem direkt noch der Spielraum hg geblieben, musste durch Reflexion einen Weg von der Grösse gm beschreiben und hat desshalb von g aus als Mittelpunct der zurückgeworfenen Bewegung irgend einen Punct l, ($gl = mg$) erreicht. Da g als selbstständiger Ausgangspunct einer Welle gelten kann, so darf man für l jeden Punct des Kreisbogens nehmen, welchem gl als Radius zugehört also auch denjenigen, für welchen Winkel $lgs = mgs$. Man verlängere lg bis zum Durchschnittspuncte mit der Verlängerung der Linie Fc und nenne diesen Punct F'. Die rechtwinkligen Dreiecke Fgc und $F'gc$ sind gleich, weil sie die Seite cg gemeinschaftlich und auser den rechten Winkeln auch noch Winkel $Fgc = F'go$ haben. Es ist daher Linie $Fc = F'c$, ferner $Fg = F'g$ und folglich auch $F'l = Fm$. D. h. der Punct l gehört dem Kreisbogen dls an, der mit dem Strahle $F'l = Fm$ von F' als Mittelpunct gezogen ist. Dasselbe gilt, und aus denselben Gründen, für jeden andern Strahl der reflectirten Welle acb. Der Kreisbogen rds bezeichnet also die Gränze, bis zu welcher die Bewegung der Welle, eine Sehwingungsperiode nach dem Beginne der Zurückwerfung zurückgeschritten ist. Man sieht hieraus: dass die zurückgeworfene Welle sich gerade so verhält, als wäre sie von dem Puncte F', der ebenso weit hinter der Fläche liegt, wie F vor demselben, als Erregungspunct ausgegangen, und dass die Richtung eines zurückgeworfenen Schallstrahls gefunden wird, in dem man von dem Puncte F' aus eine gerade Linie durch den Einfallspunct des direkten Strahls zieht.

Denkt man sich auf dem Einfallspuncte g ein Loth errichtet,

so kommt es in die Ebne zu liegen, welche der einfallende mit dem ausfallenden Strahle bildet und die Neigung des einfallenden Strahls gegen dieses Loth (der Einfallswinkel) ist der Neigung des ausfallenden Strahls gegen dasselbe Loth (dem Ausfallswinkel) gleich. Nach diesem Satze, der, wie man leicht sieht, ganz allgemeine Geltung hat, lässt sich die Zurückwerfung des Schalls von gekrümmten Oberflächen bestimmen, indem jeder physische Punct derselben als ebne Fläche betrachtet werden darf.

Z. B. die vom Mittelpuncte eines mit kreisförmigen oder kugelförmigen Wänden umgebenen Raumes ausgehenden Wellen müssen durch Reflexion zu ihrem Ursprunge zurückkehren, weil alle Schallstrahlen auf der reflectirenden Wand senkrecht stehen. — Die in einem Brennpuncte einer Ellipse oder eines Ellipsoids erregten Schallwellen tragen den Schall durch Reflexion nach dem andern Brennpuncte, weil die von den Brennpuncten nach einem beliebigen Puncte der elliptischen Krümmung geführten Linien mit der auf diesem Puncte errichteten Senkrechten gleiche Winkel bilden.

Auf ähnliche Weise erklärt es sich, dass der Schall durch Reflexion von Hohlflächen mit annähernd parabolischer Krümmung nach gewissen Richtungen vorzugsweise geleitet wird; dass wenn zwei nach Kugelsegmenten gekrümmte Hohlflächen so einander gegenüberstehen, dass ihre Axen zusammenfallen, die von dem Brennpuncte der einen ausgehenden Schallstrahlen durch zweimalige Reflexion theilweise in dem Brennpuncte der andern gesammelt werden. Befindet sich daher ein schallender Körper in dem einen Brennpuncte, so hört man den Schall in dem andern stärker als an jeder andern Stelle.

522. Befindet sich in einer reflectirenden Wandfläche eine Oeffnung, so wird der auf dieselbe fallende Theil der Schallwelle nicht zurückgeworfen, sondern pflanzt sich durch dieselbe nach Aussen fort. Der hierdurch nach Aussen geleitete Schall wird dann nicht nur innerhalb des Winkels *aFb* (Fig. 245), in dessen Um-

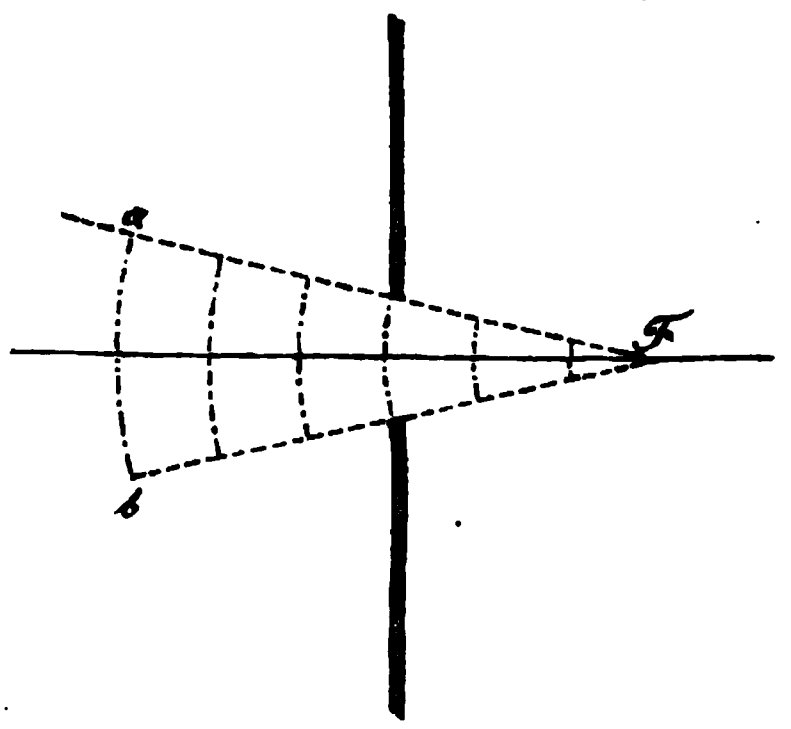


Fig. 245.

fang die Fortpflanzung der Bewegung unmittelbar statt findet, sondern auch seitwärts, obschon mit abnehmender Stärke empfunden. Denn jedes schwingende Lufttheilchen sucht die seiner Phase entsprechende Spannung nach allen Richtungen fortzupflanzen und versetzt dadurch die Lufttheile auch seitwärts von dem Winkel *a F b* in Schwingung. So kommt es, dass die Welle sich mehr und mehr nach den Seiten ausbreitet, je weiter sie ausserhalb der Oeffnung fortschreitet.

523. Schalleindrücke, welche in Zeitintervallen von weniger als $\frac{1}{9}$ Sekunde auf einander folgen, kann das Ohr nicht unterscheiden. Sie wirken zusammen als ein einziger Schall. So wird die von nahe liegenden Wänden reflectirte Schallwelle mit der direkt einfallenden als gleichzeitig empfunden, und die eine dient dann nur, um den Eindruck der andern zu verstärken. Aus diesem Grunde schallt die Stimme in geschlossenen Räumen von geringer Ausdehnung stärker als im Freien. — Bei zunehmendem Abstande der Wände empfindet man allmählig die Verspätung des zurückgeworfenen Schalls durch eine, in grossen Sälen oft so lästig werdende Verlängerung des ursprünglichen (Nachhall). Endlich bei einem Abstande von der Grösse, dass die zurückgeworfene Welle einen um wenigstens $\frac{1027}{9}$ Fuss grösseren Weg als die direkte zurückzulegen hat, löst sich der reflectirende Schall ganz von dem direkten und wird als Wiederhall (Echo) gehört.

Hat die zurückgeworfene Schallwelle einen Weg von 2, 3, 4mal $\frac{1027}{9}$ Fuss zu beschreiben, so können durch das Echo zwei oder mehrere Laute hintereinander wiedergegeben werden. Das Echo wird nachhallend (rollend), wenn eine Reihe reflectirender Körper, z. B. steile Abhänge eines Gebirgszuges, in stetiger oder fast stetiger Zunahme der Abstände hintereinander liegen.

Befinden sich mehrere reflectirende Flächen in der Umgebung der Schallquelle so vertheilt, dass eine immer um wenigstens 60 Fuss weiter entfernt liegt, als die andere, so entsteht ein mehrfaches Echo. — Auch in der Mitte ringförmiger Plätze von wenigstens 60 Fuss Radius, die von hohen Häusern umgeben sind, wird ein mehrfaches Echo gehört.

In Kirchen, Hörsälen, Theatern vermindert man nachtheilige Wirkungen der Schallreflexion durch Oeffnungen in den Wänden, durch hervorragende Verzierungen und andere Unterbrechungen in der Einheit der reflectirenden Flächen. Auch durch Fenstervorhänge, Fusssteppiche, Behängen der Wände mit Tapeten, durch Anhäufung vieler Gegenstände in einem Raume wird die Stärke des Schalls in demselben gemässigt.

Unebenheiten der Wände schwächen die Intensität des Schalls, weil sie die regelmässige Ausbildung der zurückgeworfenen Schallwelle nicht zulassen. Lockere Stoffe lähmen die Zurückwerfung überhaupt.

Die Luftwellen werden nicht nur von der Oberfläche fester und flüssiger Körper sondern auch von andern Gasen, ja selbst beim Eindringen in Luftmassen von verschiedener Dichtigkeit

theilweise zurückgeworfen; so beim Uebergange aus niederen in höhere Luftschichten, aus kalter in warme, aus trockner in feuchtere Luft oder umgekehrt. (Zurückwerfung des Schalls von den Wolken.)

Die untersten Schichten der Atmosphäre sind theils durch ungleiche Erwärmung des Bodens, theils in Folge des Verdunstungsprozesses bei Tage weit mehr als zur Nachtzeit von Strömungen ungleich dichter Luft durchzogen. Die hieraus entspringenden zahlreichen Reflexionen der Schallwellen bilden neben der allgemeinen Ruhe der Nacht die Hauptursache, warum der Schall Nachts weiter dringt als bei Tage. Wenn aber auch gar kein Hinderniss der Fortpflanzung des Schalls entgegensteht, so muss seine Kraft gleichwohl bald abnehmen, weil die Intensität der schwingenden Lufttheilchen, vorausgesetzt, dass die Welle sich frei ausbilden kann, im umgekehrten Verhältnisse zur Entfernung von der Ausgangsstelle steht.

524. Luftwellen, die sich in cylindrischen Röhren fortpflanzen, müssen ihre Breite unverändert beibehalten und können nur durch Reibung an den Röhrenwänden allmählich einen Theil ihrer Bewegung einbüssen. Durch Röhrenleitungen kann daher der Schall mit fast ungeschwächter Kraft von einem Ende bis zum andern fortgetragen werden. Schallleiter (Communikationsröhren) aus vulkanisirtem Kaoutschuck, aus Gutta-Percha etc.

Ein sehr wirksames Mittel die Kraft der menschlichen Stimme nach gewisser Richtung zu verstärken, bildet das Sprachrohr. Es ist ein offnes conisches, oder eigentlich parabolisch gekrümmtes Rohr aus Metallblech, in dessen engerer Oeffnung, dem Mundstücke, die Schallwellen erzeugt werden. Durch Reflexion von den konischen Seitenwänden erhalten sie dann eine solche Richtung, dass ihre Strahlen in der ganzen Breite der Ausmündung des Rohrs parallel laufen, folglich auch ausserhalb desselben länger zusammenhalten.

Als eine Umkehrung des Sprachrohrs ist das Hörrohr zu betrachten, welches gebraucht wird, die ganze lebendige Kraft der in der weiteren Oeffnung des Rohrs eindringenden Welle zum Ohr zu leiten.

525. Das menschliche Gehörorgan besitzt die Fähigkeit mehrere Schalleindrücke zugleich aufzunehmen und sie von einander zu unterscheiden. Es geht hieraus hervor, dass die an verschiedenen Stellen erzeugten Luftwellen unabhängig von einander fortschreiten, ja nach allen Richtungen sich durchkreuzen können, ohne sich dauernd zu stören. Dieses Verhalten entspricht ganz dem allgemeinen, aus dem Gesetze der Trägheit sich ergebenden Grundsatze der Mechanik, dass die unter der gleichzeitigen Einwirkung mehrerer Kräfte erfolgenden kleinen Bewe-

gungen materieller Theilchen immer von der Art sind, dass sie gleichzeitig allen diesen Kräften vollständig Genüge leisten müssen.

Vorübergehende Störungen kommen an den Stellen vor, an welchen zwei Wellen in einander greifen (interferiren). Sie bestehen, je nach der Richtung und Stärke der zusammenfallenden Bewegungen, je nachdem gleichartige oder ungleichartige Wellentheile sich durchkreuzen, in einer Verstärkung oder Schwächung und selbst Aufhebung der Bewegung. Nach erfolgter Durchkreuzung setzt aber jede Welle ihren Weg ganz nach der anfänglichen Weise fort und ohne dass die Grösse der ihr eingeprägten lebendigen Kraft dadurch eine Aenderung erfuhr.

Liegen die Ausgangspuncte zweier Wellenzüge von gleicher Wellenlänge sehr nahe, so vermischen sie sich unter dem Einflusse der eintretenden Interferenzen allmählig zu einem einzigen Systeme von derselben Wellenlänge aber vermehrter Intensität.

So wirken die durch eine schwingende Saite und die unter gleichen Perioden mitschwingenden Theile eines Resonanzbodens erzeugten Luftwellen, ungeachtet jeder stetig schwingende Punct als Ausgangsstelle eines Wellenzuges betrachtet werden kann, in einigem Abstande von dem Orte der Erzeugung doch nur wie ein einziges System.

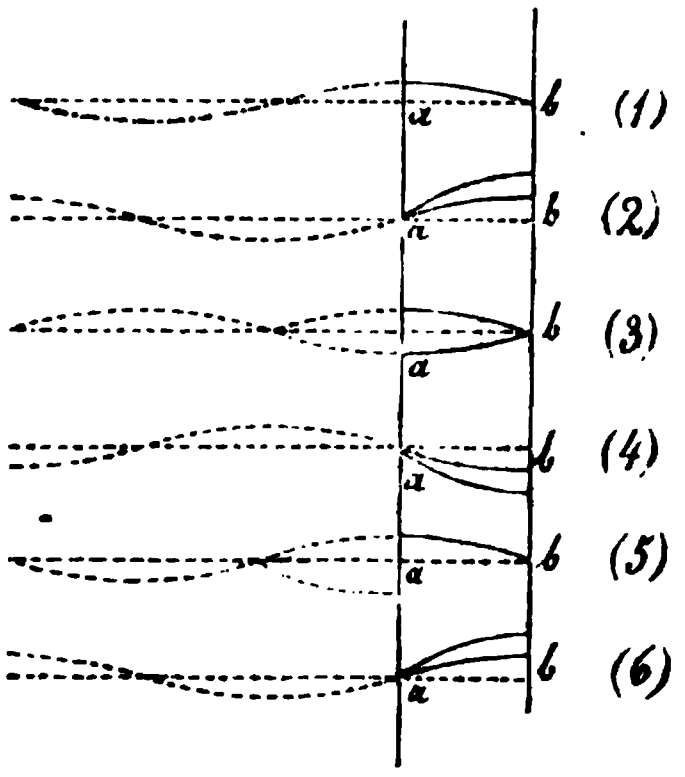
526. Stehende Luftschwingungen. — Da die Luftwellen mit den Längenwellen in festen und tropfbar flüssigen Körpern hinsichtlich der Weise ihrer Entstehung und Fortpflanzung die vollkommenste Uebereinstimmung zeigen, so ist vorauszusehen, dass Luftwellen unter Bedingungen ähnlicher Art wie die in No. 500 erörterten ebenfalls stehend werden müssen. In der That kann man in cylindrischen Röhren, seien sie ganz offen oder am einen Ende geschlossen, stehende Schwingungen hervorbringen.

Es werde zunächst ein einerseits geschlossenes Rohr mit dem offnen Ende einem Zuge von Wellen entgegengestellt, deren Länge das vierfache von der des Rohrs beträgt. Die ganze Schwingungsperiode sei $4t$, Eine beim Beginne dieser Zeit vor dem Rohr ankommende Welle wird nach der Zeit t bis zum geschlossenen Ende vorgedrungen sein.

Es bezeichne ab (Fig. 246) die Länge des Rohrs. Das Dichtigkeitsverhältniss der aufeinander folgenden Luftschichten im Innern desselben, sei in den verschiedenen Phasen einer Schwingungsperiode durch die Curve dargestellt. Fig. (1) gibt demnach das Dichtigkeitsverhältniss der Schichten, wenn die Welle bis zum Puncte b fortgeschritten ist. Einen Zeitraum t später ist der ganze

verdichtete Vordertheil der Welle in das Rohr eingedrungen und die vordere Hälfte desselben durch Zurückwerfung von der Hinterwand bereits wieder bis zur Einmündung *a* des Rohrs zurückgegangen. Alle Luftschichten im Rohr von je gleichen aber entgegengesetzt gerichteten Kräften ergriffen, befinden sich daher in diesem Augenblicke in Ruhe; die Dichtigkeit an jeder Stelle ist verdoppelt. Die verdichteten Theile setzen unmittelbar darauf gleichzeitig ihre rückgängige Bewegung fort und, nachdem abermals ein Zeitraum *t* verflossen, würde die reflectirte Verdichtungswelle vollständig entwickelt sein (3), wenn nicht unterdessen der verdünnte Hintertheil in dieselbe Stellung eingerückt wäre. Durch diese Interferenz beider Wellenhälften sind die Lufttheilchen im Rohr für den Augenblick in den natürlichen Dichtigkeitszustand zurückgekehrt. Ihre Geschwindigkeit im Sinne von *b* nach *a* ist aber verdoppelt. An der Hinterwand selbst 0, hat sie an der Ausmündung ihr Maximum erreicht. Zu Ende des folgenden Zeitraums *t* hat der Vordertheil der reflectirten Welle das Rohr ganz verlassen und interferirt mit der zweiten Welle des Zugs, welche unterdessen bis vor die Mündung gerückt ist. Der Hintertheil der ersten Welle ist ganz in das Rohr eingedrungen und zur Hälfte bereits wieder bis an die Mündung zurückgeworfen. Wieder ist dadurch ein augenblicklicher Ruhestand eingetreten, verbunden mit einer von *a* nach *b* zunehmenden Verdünnung (4). Indem man diese Betrachtungen fortsetzt, ist nun leicht zu übersehen, dass wieder nach der Zeit *t* die Lufttheilchen (je unter dem Einflusse der neuankommenden und zurückgeworfenen Welle) von *a* nach *b* durch ihre natürliche Gleichgewichtslage schwingen (5), und einen Zeitraum *t* später, oder eine Zeit 4 *t* nach dem ersten Eintritte der Ruhe bei verdichtetem Zustande, von Neuem gleichzeitig verdichtet und in Ruhe sich befinden u. s. f. Die Schwingungen sind jetzt stehend geworden und der Zeitraum einer Hin- und Herschwingung ist demjenigen gleich, in welchem sich eine Luftschwingung bei ungehindertem Fortschreiten um die vierfache Länge des Rohrs fortpflanzen würde.

Fig246.



Die schwingende Luftsäule kann auch Knotenpuncte erhalten, und die Analogie mit dem Verhalten eines elastischen Stabs der am einen Ende fest ist, lässt leicht erkennen, wo im Innern des Rohrs möglicherweise Knotenpuncte und wo Stellen

grösster Geschwindigkeit bei natürlicher Luftdichte entstehen können.

Haben z. B. die eindringenden Wellen $^4/_3$ von der Länge l des Rohrs, so muss, von dem geschlossenen Ende des Rohrs an gerechnet, in dem Abstande $^1/_3 l$ ein Punct grösster Geschwindigkeit im Abstande $^2/_3 l$ ein Knotenpunct entstehen. Der hierdurch gebildete Ton ist höher als derjenige, der ohne Knotenpunct schwingenden Luftsäule und entspricht der dreifachen Schwingungszahl. Im Allgemeinen verhalten sich die Schwingungszahlen der Töne, welche in einem Rohre, das am einen Ende geschlossen ist, möglicherweise entstehen können, vom tiefsten dieser Töne angefangen, wie 1 : 3 : 5 u. s. w.

Will man einen Ton haben, dessen Schwingungszahl die doppelte jenes tiefsten Tones ist, so muss das Rohr um die Hälfte verkürzt werden.

Aber auch die Luftsäule in einem ganz offnen Rohre kann genöthigt werden, stehende Schwingungen zu vollenden. Ihre Entstehungsweise gleicht derjenigen der stehenden Längenschwingungen eines frei gehaltenen prismatischen Stabs. Gesetzt, das Rohr sei halb so lang als eine Luftwelle, welche eben im Begriffe ist, am einen Ende einzutreten, so wird nach der Zeit $2t$ ihr ganzer Vordertheil eingedrungen sein und eben am vorderen Ende des Rohrs anlangen. Während des Fortschreitens im Innern, nehmen die aufeinander folgenden Luftschichten bei gleicher Schwingungsphase immer genau gleiche Dichtigkeit und Schwingungsintensität an. Diess gilt aber nicht mehr für die austretenden Wellentheile, weil diese sogleich beginnen sich nach den Seiten auszubreiten. Der Dichtigkeitsunterschied zwischen einem bereits ausserhalb befindlichen und dem folgenden noch inneren Wellenelemente nimmt dadurch zu und mit ihm die Schwingungsweite der Theilchen. So kommt es, dass beim Austritte einer Verdichtungswelle mehr Luft aus dem Rohr entfernt wird, beim Austritt einer Verdünnungswelle mehr in dasselbe eindringt, als dem normalen Dichtigkeitszustande entspricht. Die Welle wird daher von der Ausmündung des Rohrs, ganz so wie beim Uebergange von Luft in ein Gas von geringerer Dichte, zurückgeworfen, d. h. jede Verdichtungswelle kehrt als Verdünnungswelle und jede der letzteren Art als eine der ersteren zurück. Es ist nun klar, dass im Uebrigen alles so wie unter ähnlichen Umständen in einem frei gehaltenen elastischen Stabe vor sich gehen muss. Der tiefste Ton, welchen ein offnes Rohr geben kann, entspricht einem Knotenpuncte in der Mitte desselben und wird durch eine Luftwelle getragen, deren Länge der doppelten Länge des Rohrs gleichkommt. Seine Schwingungszahl verhält sich zu derjenigen der höheren Töne, die in demselben Rohre durch Vermehrung der Schwingungsknoten entstehen können, wie 1 : 2 : 3 u. s. w.

Erfahrungsmässig liegt für den Fall des tiefsten Tons der Knotenpunct nicht genau in der Mitte des Rohrs, sondern etwas weiter nach vorn. Wahrscheinlich aus dem Grunde, weil der volle Effect der Reflexion nicht unmittelbar an der Ausmündung sondern etwas ausserhalb derselben statt findet.

Aehnlich wie die Luft können begreiflich alle Gase zum Tönen gebracht werden. Für alle wiederholt sich der Satz: dass die Länge der in einem ganz offnen Rohr, oder allgemeiner und schärfer, die Länge der zwischen zweien Knotenflächen schwingenden Gassäule, die Hälfte von der Wegeslänge beträgt, um welche die Schallwelle in demselben elastischen Mittel während einer Schwingungsperiode fortschreitet. Für diesen Zeitraum wurde früher (505) der Ausdruck gefunden:

$$T = 4l \sqrt{\frac{s}{gb} \cdot \frac{1}{K}};$$

wo l die Länge eines am einen Ende geschlossenen Rohrs, also $2l$ den Abstand von einer Knotenfläche zur andern und $4l$ die Wellenlänge, endlich K das Verhältniss der spec. Wärme bei constantem Drucke zur spec. Wärme bei constantem Volume, z. B. für Luft die Zahl 1,415 vorstellt. Aus dieser Gleichung ergibt sich die einer tönenden Gassäule entsprechende Schwingungszahl $n = \frac{1}{T} = \frac{1}{4l} \sqrt{\frac{gb}{s}} \cdot K.$

Wird nun in ein und demselben Rohr zuerst Luft, dann ein anderes Gas in der Weise zum Tönen gebracht, dass in beiden Fällen entweder der tiefste Ton, oder der nächst höhere oder der zweite u. s. w. entsteht, mit einem Worte, dass die durch beide Gase erzeugten Töne einerlei Wellenlänge entsprechen, so bildet sich zwischen ihren Schwingungszahlen das Verhältniss:

$$n^2 : n'^2 = \frac{1{,}415 \cdot b}{s} : \frac{b \cdot K}{s'}.$$

Die Werthe von n und n' lassen sich aus den Tonhöhen ableiten. Sind daher für gleiche Spannkraft beider Gase ihre Dichtigkeiten s und s' bekannt, so kann K als die einzig vorkommende Unbekannte berechnet werden.

Auf diese Weise hat Dulong (Pogg. Ann. B. 16 S. 455), indem er eine Flöte nach und nach mit verschiedenen Gasen ertönen liess, die bereits S. 127 angeführten Zahlen gefunden.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in denselben Gasen wurde dann mit Hülfe der Gleichung

$$v = \sqrt{g \frac{b}{s} k}$$

erhalten.

Sie beträgt bei 0° für:

Luft	333	mtre.
Sauerstoff	317,17	„
Wasserstoff	1269,5	„
Kohlensäure	261,6	„
Kohlenoxyd	337,4	„
Stickstoffoxyd . . .	261,9	„
Oelbildendes Gas . .	314	„

Theorie der Musik und der musikalischen Instrumente.

527. Die wissenschaftliche Betrachtung der verschiedenen Tonquellen, insbesondere der schwingenden Saite und der tönenden Luftsäule, bietet ein besonderes Interesse wegen der Anwendung derselben in der Musik. Die Kunst des Instrumentenbaues ist indessen der Wissenschaft lange vorangegangen und letztere hat die Eintheilung und Benennung der Töne von der Musik entlehnt. Es ist darum unsere nächste Aufgabe, die Grundlage dieser Ausdrucksweise hier kurz zu entwickeln.

Wenn man eine Saite am Monochord auf unveränderter Tonhöhe erhält, eine andere ähnlich ausgespannte Saite aber durch ganz allmählige Verkürzung oder Verlängerung immer höhere oder immer tiefere Töne geben lässt, so bemerkt man leicht auffallende Verschiedenheiten in der Annehmlichkeit des Eindrucks, welchen die gleichzeitig angegebenen Töne beider Saiten auf das Ohr hervorbringen. Sind beide aus gleichem Material, von gleicher Dicke und durch gleiche Gewichte gespannt, so findet man, dass jedesmal dann, wenn der Eindruck ein angenehmer, gleichartiger oder sogenannter harmonischer ist, die Längen beider Saiten, mithin auch ihre Schwingungszahlen in einem durch einfache ganze Zahlen ausdrückbaren Verhältnisse stehen. Je grösser die Primzahlen sind, durch welche das Verhältniss der Schwingungszahlen gegeben ist, desto widriger (disharmonischer) ist der Eindruck der gleichzeitig angeschlagenen Töne. So wenig übrigens, als sich eine Gränze zwischen kleinen und grossen Zahlen bestimmen lässt, so wenig lässt sich eine solche für das Gebiet der Harmonieen und Disharmonieen angeben.

Mit dem am Monochord unverändert erhaltenen Tone, dem Grundtone, klingen diejenigen Töne am gleichartigsten, deren Schwingungszahlen das Doppelte, Vierfache, Achtfache etc., oder die Hälfte, ein Viertel, ein Achtel etc. von der des Grundtons betragen. Man hat das Verhältniss 1 : 2 das der Oktave genannt und das ganze Bereich der musikalischen Töne in Oktaven eingetheilt, indem man als die Gränzpuncte derselben die Töne von folgenden Schwingungszahlen erwählte:

			Bezeichnung:	Schwingungszahl:
Grundton	der	Contra - Oktave	$\underline{C}$	33
„	„	grossen „	C	66
„	„	kleinen „	c	132
„	„	eingestrichenen „	$\bar{c}$	264
„	„	zweigestrichenen „	$\bar{\bar{c}}$	528
„	„	dreigestrichenen „	$\overset{3}{c}$	1056
„	„	viergestrichenen „	$\overset{4}{c}$	2112

Innerhalb der nämlichen Oktave, also z. B. von c bis $\bar{c}$ lassen sich noch mehrere Töne auffinden, welche, mit dem Grundton c gleichzeitig angeschlagen, harmonisch klingen. Die Verhältnisse der Schwingungszahlen oder die musikalischen Intervalle dieser Zweiklänge und ihre Namen sind die folgenden:

Verhältniss. Grundton	höherer Ton	Name.
2	3	Quinte
3	4	Quarte
4	5	Grosse Terz
5	6	Kleine Terz
3	5	Sexte
5	8	Kleine Sexte.

528. Die gleichzeitige Verbindung dreier Töne oder ein Dreiklang ist nur dann harmonisch (ein Akkord), wenn jeder der drei Töne mit den beiden andern in einem der eben angegebenen Verhältnisse steht. Man kann zwar aus den Tönen einer Oktave eine grössere Anzahl Akkorde bilden; aber sie lassen sich allein durch Versetzung des Grundtons um eine Oktave aufwärts, oder des obersten Tones um eine Oktave abwärts, auf die zwei folgenden wesentlich verschiedenen Dreiklänge zurückführen:

Durakkord.			Mollakkord.		
Grundton.	Grosse Terz.	Quinte.	Grundton.	Kleine Terz.	Quinte.
4	5	6	10	12	15

Die Schwingungsverhältnisse des Durakkords oder grossen Dreiklangs lassen sich durch einfachere Zahlen ausdrücken, als diejenigen des Mollakkords oder kleinen Dreiklangs und dem entsprechend hat der erstere einen reineren Klang. Jeder der beiden Akkorde ist jedoch als Grundlage eines eigenthümlichen Geschlechts harmonischer Compositionen angenommen und bei allen civilisirten Nationen der neueren Zeit in anerkanntem Gebrauche.

Wenn man Grundton, grosse Terz, Quarte, Quinte, Sexte und Oktave nacheinander angibt, so fühlt man, dass zwischen Grundton und Terz, sowie zwischen Sexte und Oktave Lücken bestehen, welche für eine wohlgefällige Tonfolge zu gross sind. Sehr schicklich werden diese Lücken ausgefüllt, wenn man über demjenigen Tone, welcher dem Grundton am nächsten verwandt ist, der Quinte, einen neuen Durakkord aufbaut. Nimmt man die Schwingungszahl des Grundtons zur Einheit, so hat die obere Terz der Quinte die Schwingungszahl $\frac{3}{2} \cdot \frac{5}{4} = \frac{15}{8}$, dieser neue Ton fällt zwischen die Sexte $\frac{5}{3}$ und die Oktave 2, und führt den Namen Septime. Die obere Quinte der Quinte hat die Schwingungszahl $\frac{3}{2} \cdot \frac{3}{2} = \frac{9}{4}$ und liegt schon höher als die Oktave. Versetzt man den Ton aber um eine Oktave herab, so ist seine Schwingungszahl $\frac{9}{8}$, er fällt zwischen den Grundton 1 und die Terz $\frac{5}{4}$, und hat den Namen Sekunde erhalten. Ueberhaupt werden die angeführten Namen erst jetzt vollkommen verständlich, wenn man die Stellung der Töne in der folgenden Reihe, der Durtonleiter, ins Auge fasst, welche hier sammt der gebräuchlichen Bezeichnung der Töne und ihren Schwingungsverhältnissen angegeben ist:

Grundton oder Prime.	Sekunde.	Terz.	Quart.	Quinte.	Sexte.	Septime.	Oktave.
c	d	e	f	g	a	h	c
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

Von $\bar{c}$ aus wiederholt sich dieselbe Folge von Verhältnissen, auch die Namen und Bezeichnungen bleiben im Wesentlichen dieselben. Die obere Sexte von $\bar{c}$ wird mit $\bar{a}$ (eingestrichen a) bezeichnet und hat auf c als Einheit bezogen, die Schwingungszahl $2 \cdot \frac{5}{3} = \frac{10}{3}$. Auf dem Klavier sind gewöhnlich 6 bis 7 solcher Oktaven übereinander gebaut, deren

Namen und Grundtöne schon oben angegeben wurden. Da es indessen bei der musikalischen Anordnung (Stimmung) eines Instrumentes nicht allein darauf ankommt, die Verhältnisse der verschiedenen Töne zu einander zu kennen, sondern da auch die absolute Schwingungszahl wenigstens eines Tones bestimmt sein muss, so hat man für diesen Normalton einen solchen gewählt, welcher etwa in die Mitte des ganzen Bereichs musikalischer Töne fällt und auf sämmtlichen musikalischen Instrumenten vorkommt. In allen Orchestern bedient man sich gekrümmter Stahlstäbe (Stimmgabeln), welche den Ton $\bar{a}$ angeben, zur Herstellung einer gleichartigen Stimmung der Instrumente. Die Schwingungszahl dieser Stäbe ist nicht aller Orten die nämliche; doch ist man nun übereingekommen, bei den wissenschaftlichen Erörterungen $\bar{a}$ zu 440 (Doppel-) Schwingungen anzunehmen, eine Zahl, von welcher die eingeführten Normaltöne sämmtlich nur wenig nach der Höhe oder nach der Tiefe hin abweichen. Die tiefere Sexte von $\bar{a}$ oder $\bar{c}$ erhält hiernach $\frac{3}{5} . 440 = 264$ Schwingungen, und so ist es in der obigen Tafel der Grundtöne der verschiedenen in der Musik gebräuchlichen Oktaven angenommen.

529. Es ist unverkennbar, dass die harmonische Beziehung der Töne durch das geometrische Verhältniss ihrer Schwingungszahlen bestimmt ist. Zwischen den Schwingungszahlen 33, 66, 132, 264, der aufeinander folgenden Oktaven sind die Unterschiede sehr ungleich, die Quotienten bleiben immer gleich 2. Das musikalische Intervall zweier Töne ist ausgedrückt durch die Quotienten ihrer Schwingungs-Zahlen.

Untersuchen wir hiernach die Intervalle der aufeinander folgenden Töne der Durtonleiter, so ergeben sich

c	d	e	f	g	a	h	$\bar{c}$
$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$	

also dreierlei verschiedene Intervalle. Das Intervall $\frac{9}{8}$ heisst ein grosser ganzer Ton, $\frac{10}{9}$ ein kleiner ganzer Ton, $\frac{16}{15}$ ein grosser halber Ton; Der Abstand zwischen kleiner und grosser Terz $\frac{5}{4} : \frac{6}{5} = \frac{25}{24}$ wird ein kleiner halber Ton, jedes noch kleinere Intervall, wie z. B. das zwischen einem kleinen und einem grossen ganzen Tone $\frac{9}{8} : \frac{10}{9} = \frac{81}{80}$ ein musikalisches Comma genannt.

530. Da sich nur von Oktave zu Oktave dieselbe Intervallenfolge wiederholt, so würde eine solche Reihe von Tonleitern nur ein sehr unvollkommenes musikalisches System darbieten, indem die nämliche Melodie nur auf einem bestimmten Grundtone oder eine oder mehrere Oktaven tiefer oder höher sich ausführen liesse. Wollte man dagegen über jedem Tone der Tonleiter als Grundton eine der angeführten vollkommen gleiche Reihe errichten, so würde die hierzu erforderliche grosse Anzahl von Tönen sowohl den Bau als die Handhabung der musikalischen Instrumente äusserst schwierig machen. Es bietet sich hier eine Aushülfe dadurch, dass die Schärfe, womit auch das musikalisch gebildete Ohr die Reinheit eines Akkords zu beurtheilen vermag, eine Gränze hat, welche sehr bald erreicht ist. Töne, welche ihrer theoretischen Herleitung zu Folge, sich nur um ein kleines Comma wie etwa um 1,01 unterscheiden, können, ohne dass der Reinheit der Harmonien dadurch Eintrag geschieht, miteinander verschmolzen werden, und man gewinnt durch diese Licenz bei einer begränzten Anzahl

von Tönen, ein System, in welchem über jedem Tone ganz dieselbe Stufenleiter folgt, Es wird diese Abweichung von der mathmematischen Reinheit der Intervalle, welche übrigens wegen der Unvollkommenheiten des Materials, wegen der Temperatureinflüsse etc., doch immer nur in der Idee existiren würde, die temperirte Stimmung eines Instrumentes genannt.

Das Folgende soll zeigen, wie man zu der jetzt allgemein üblichen, gleichmässigen oder gleichschwebenden Temperatur gelangt. Ueber der reinen Quinte von c, also über g, gibt die obige Tonleiter folgende Reihe von Intervallen:

$$\begin{array}{ccccccccccccc} g & & a & & h & & \bar{c} & & \bar{d} & & \bar{e} & & \bar{f} & & \bar{g} \\ & \frac{10}{9} & & \frac{9}{8} & & \frac{16}{15} & & \frac{9}{8} & & \frac{10}{9} & & \frac{16}{15} & & \frac{9}{8} & \end{array}$$

Vergleicht man diese mit den Normaltonleiter von c bis $\bar{c}$, so weichen die ersten fünf Intervalle höchstens nur um ein Comma ab und können darum beibehalten werden. Das sechste Intervall aber ist zu klein, das siebente um ebensoviel (einen halben Ton) zu gross und man sieht, dass diesen Mängeln durch Einschaltung eines neuen Tones zwischen $\bar{f}$ und $\bar{g}$, um eine halbe Tonstufe höher als $\bar{f}$, abgeholfen werden kann. Dieser neue Ton hat den Namen $\bar{fis}$ erhalten.

Geht man nun von g zu einem neuen Grundton fort, welcher wieder eine Quinte höher liegt also zu $\bar{d}$, so benutzt man zunächst die Tonreihe $\bar{d}$, $\bar{e}$, $\bar{fis}$, $\bar{g}$, $\bar{a}$, $\bar{h}$; nun treten wieder dieselben Mängel ein, wie im vorigen Falle, zwischen $\bar{c}$ und $\bar{d}$ muss ein neuer Ton $\bar{cis}$ eingeschaltet werden. Man würde in dieser Weise, in den Grundtönen von Quinte zu Quinte vorschreitend, immer neue Töne einschalten müssen, wenn nicht die zwölfte Quinte, deren Schwingungszahl $\left(\frac{3}{2}\right)^{12} = \frac{531441}{4096} = 129{,}7$, von der siebenten Oktave, deren Schwingungszahl $= 2^7 = 128$, so wenig verschieden wäre, dass anstatt jener diese letztere angenommen werden kann. Da man wieder auf einem Grundton c angelangt ist, so schliesst der Quintencirkel; dieselbe Reihe von Quinten beginnt von Neuem. Es ist natürlich, dass man den Fehler $\frac{129{,}7}{128} = 1{,}013$ nicht auf die etzte Quinte allein wirft, sondern auf die zwölf Quinten, durch welche man aufgestiegen ist, zu gleichen Theilen vertheilt, indem man jeder eine geringe Schwebung abwärts gibt. Denkt man sich diese sämmtlichen Quinten, in reinen Oktaven abwärts gehend, auf das Gebiet Einer Oktave reducirt, so erhält diese die bekannten 12 Töne, welche mittelst der 8 Untertasten und der 5 Obertasten des Klaviers oder der Orgel angegeben werden. Keines der harmonischen Intervalle hat bei dieser gleichschwebenden Temperatur seine volle Reinheit behalten, allein die Abweichungen liegen sämmtlich innerhalb erlaubter Gränzen und sind bei den einfachsten Zweiklängen, der Quinte und Quarte, bei welchen eine Beeinträchtigung der Reinheit am leichtesten bemerkt wird, äusserst gering. Die Oktaven bleiben völlig rein.

Die Berechnung des temperirten Quintenintervalls x geschieht nach der Gleichung $x^{12} = 2^7 = 128$ und es ergibt sich hieraus $x = 1{,}49831$, während die reine Quinte $= 1{,}5$ zu nehmen wäre. Die zweite Quinte hat die Schwingungszahl $x^2 = 2{,}24492$; sie fällt schon in die folgende Oktave; der entsprechende Ton in der Oktave des Grundtons, von welchem man ausging, hat demnach die Schwingungszahl $\frac{x^2}{2} = 1{,}12246$. Man sieht leicht,

wie hiernach die Schwingungszahlen der 12 Töne einer gleichschwebend temperirten Oktave berechnet werden.

Die Resultate sind die folgenden:

c	1,00000	fis	1,41421
cis	1,05946	g	1,49831
d	1,12246	gis	1,58740
dis	1,18921	a	1,68179
e	1,25992	ais	1,78180
f	1,33484	h	1,88775
	$\bar{c}$ 2,00000.		

Die Kenntniss der Molltonleiter ist für die akustischen Untersuchungen von keinem besonderen Interesse. Es genügt anzuführen, dass das um eine halbe Tonstufe erhöhte d, also dis, als hinreichend übereinstimmend mit der kleinen Terz, deren Schwingungszahl gleich 1,2, betrachtet werden kann, und dass somit das beschriebene temperirte Tonsystem auch für die Mollharmonieen ausreichend ist.

531. Suchen wir nunmehr die Tonfolge auszudrücken, welche in der nämlichen gedeckten oder offenen Pfeife durch Hervorrufen immer kürzerer und im gleichen Verhältnisse zahlreicherer Knotenabtheilungen erzeugt wird. Es ist bereits No. 526 entwickelt worden, auf welche Weise stehende Luftschwingungen in Röhren mit steifen Wänden sich bilden und dass, wenn dieser Zustand eingetreten ist, eine einerseits geschlossene Röhre stets eine ungerade Anzahl von Viertelwellen, eine beiderseits offene Röhre dagegen eine gerade Anzahl von Viertelwellen, also irgend eine Anzahl von Halbwellen fasst.

Man erhält daher den tiefsten oder Grundton einer gedeckten Pfeife, wenn man mit ihrer vierfachen Länge, den einer offenen, wenn man mit der doppelten Länge in die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft dividirt. Eine offene Pfeife von 8 Fuss Länge z. B. gibt bei 18° Temperatur, bei welcher die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft = 1056 Par. Fuss ist, den Ton von $\frac{1056}{16} = 66$ Schwingungen, also C. Deckt man die Pfeife, so sinkt der Grundton um eine Oktave, also auf $\underline{C}$. Auf den Orgeln sind gewöhnlich die Pfeifen der Contraoktave gedeckt, um ihnen nicht eine unbequeme Länge geben zu müssen *).

Von dem Grundtone ausgehend folgen die Schwingungszahlen der harmonischen Obertöne, bei der gedeckten Pfeife wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, 9, ... Ist der Grundton C, so ist der nächste die Quinte der Oktave, also g, der dritte die Terz der Doppeloktave, also $\bar{e}$. Der folgende Ton 7 liegt in der nämlichen Oktave, wie der vorhergehende und hat in Beziehung auf den Grundton $\bar{c}$ den Namen der kleinen Septime erhalten. Sein Schwingungsverhältniss zu $\bar{c}$ oder $\frac{7}{4} = 1{,}75$ weicht von dem zwischen a und h eingeschalteten Tone der temperirten Skala (No. 530) etwas nach Unten ab.

Die Schwingungsverhältnisse der Obertöne der offenen Pfeife sind durch

---

*) Das Tonverhältniss der gleichlangen offenen und gedeckten Pfeife ist nicht genau das der Oktave, sondern nähert sich etwas dem der Septime, weil, wie schon oben erwähnt wurde, die Zurückwerfung der Wellen in der offenen Pfeife nicht genau am Ende der Röhre, sondern erst ausserhalb vollständig erfolgt. Die Knotenräume verlängern sich hierdurch um etwas und der Ton wird tiefer.

die Reihe der ganzen Zahlen ausgedrückt; diese Töne sind demnach die folgenden:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
C	c	g	$\bar{c}$	$\bar{e}$	$\bar{g}$	ais-	$\bar{\bar{c}}$	$\bar{\bar{d}}$	$\bar{\bar{e}}$	$\bar{\bar{f}}+$	$\bar{\bar{g}}$	$\bar{\bar{a}}-$	ais-	$\bar{\bar{h}}$	$\bar{\bar{c}}$

Die Orgelpfeifen werden so construirt, dass sie nur einen Ton, den Grundton rein und in möglichster Fülle geben, die harmonische Oberreihe kommt bei ihnen nicht zur Anwendung. Bei anderen Blasinstrumenten dagegen, wie z. B. bei dem Waldhorn, bei welchem die Röhre, der Bequemlichkeit der Handhabung wegen, in vielen engen Windungen gebogen ist, sprechen die Obertöne leicht, der Grundton nur sehr schwer an. Bei diesem Instrument, welches als ganz offene Pfeife zu betrachten ist, ist es gerade die harmonische Oberreihe, welche zur Anwendung kommt. Die kleinen Unterschiede zwischen den mathematisch reinen und den temperirten Tönen kann der Künstler durch die Art des Anblasens corrigiren. Der etwas zu hohe Ton 11 wird durch theilweises Decken des Schalltrichters mit der Hand in das temperirte $\bar{\bar{f}}$, der etwas zu tiefe Ton 13 durch verstärktes Anblasen in das temperirte $\bar{\bar{a}}$ verwandelt.

532. Bei einer grossen Anzahl von Blasinstrumenten hat man, um die Bildung von bestimmten Knotenabtheilungen zu erleichtern, Seitenöffnungen an der Röhre angebracht. Wenn diese Oeffnungen sämmtlich mit den Fingern oder durch besondere Klappen oder Ventile geschlossen gehalten werden, kann die Luftsäule im Ganzen zum Tönen gebracht werden, das Instrument gibt seinen tiefsten Ton. Oeffnet man irgendwo ein Seitenloch, so können sich fortan nur solche stehende Schwingungen in der Röhre behaupten, für welche ein sogenannter Schwingungsbauch, d. h. eine Stelle, an welcher die Luft in stärkster Oscillation und von stets gleicher Dichte ist, an den Ort der Seitenöffnung trifft; der Ton wird höher. Es ist jedoch nicht ganz richtig zu sagen, der Ton sei dann der nämliche, als wenn die Pfeife an der Stelle der Seitenöffnung abgeschnitten und der untere Theil ganz weggenommen sei. Da die Seitenöffnungen im Lichten nie die innere Weite der Röhre haben, so bleibt der Ton immer etwas tiefer, als derjenige einer Pfeife, welche vom Mundstück bis zum geöffneten Seitenloche reicht: er ist so, als wenn diese Pfeife theilweise gedeckt wäre.

Der Umstand, dass Pfeifen von gleicher Länge, aber aus verschiedenem Material, zwar gleiche Tonhöhe, aber einen verschiedenen Klang geben, beweist, dass ein Theil der Bewegungsgrösse, welche durch das Anblasen der Pfeife mitgetheilt wird, sich von der schwingenden Luft auf die starren Wände überträgt. Gibt man der Röhre sehr dünne und nachgebende Wände, z. B. aus Papier, welchem durch Wasserdampf seine Steifigkeit benommen worden ist, so schwindet die Tonstärke der Pfeife fasst ganz dahin. Sehr mit Unrecht hat man aus derartigen Versuchen schliessen wollen, dass die Schwingungen der Wände die Haupttonmasse der Pfeife abgeben. Man sieht leicht ein, dass die Starrheit der Wände für die Bildung kräftiger stehender Schwingungen der Luft eine nothwendige Bedingung ist.

533. Man hat in wissenschaftlichen Untersuchungen sehr mannichfaltige Methoden angewendet, um die in einer Röhre eingeschlossene Luftsäule zu stehenden Schwingungen zu veranlassen. Eine Platte, eine Stimmgabel, welche man am unteren Ende der Röhre schwingen lässt, reichen hierzu hin. Durch Erhitzen der Luft in einer an die Röhre angeschmolzenen Kugel (Pogg. Ann. XLII, 610, LXXIX, 1. Journal für prakt Chem. XXII, 129) ja durch die Detonationen der Knallgasflamme, über welche man eine Röhre stülpt, kann man dasselbe Resultat erzielen. In der ausübenden Musik sind zwei Methoden des Anblasens im Gebrauch. Entweder man treibt mittelst eines Blasebalgs oder mit dem Mund einen bandförmigen Luftstrom über eine an der Röhre

angebrachte Oeffnung, so dass der Strom sich an der entgegenstehenden zugeschärften Röhrenwand spaltet und im Tempo der stehenden Luftschwingungen aus- und einwärts oscillirt. Diess geschieht z. B. bei den sogenannten Flötenwerken der Orgel, den eigentlichen Pfeifen, — oder man treibt die Luft in einen Behälter, welcher mit der Röhre nur durch eine schmale Spalte in Verbindung steht, in der ein längliches schwingendes Plättchen aus Messing oder Stahl (die sogenannte Zunge) so angebracht ist, dass es bei seinen Oscillationen die Spalte abwechselnd gerade schliesst und wieder öffnet — diess ist der Fall bei den Zungenwerken der Orgel. Es werden dabei entweder aufschlagende Zungen, d. h. solche, welche etwas breiter als die Spalte, sich auf die Ränder derselben auflegen, oder durchschlagende Zungen, d. h. solche, welche bei ihrer Oscillation durch die Spalte, ohne die Ränder zu streifen, gerade durchgehen können, angewendet.

Da die Tonhöhe der Zungenpfeifen sowohl durch die Schwingungsdauer der Zunge, als durch die Länge der Röhre bedingt wird, so gelten für diese Pfeifen überhaupt andere Gesetze, als für die Flötenwerke, sie erfordern daher eine besondere Betrachtung.

534. W. Weber, welcher diese Pfeifen genauer studirt hat (Pogg. Ann. XVI. 193. XVII. 193.) bewiess zunächst, dass der sonore Ton derselben weder von der Zunge noch durch die stehenden Schwingungen der Luft in der Ansatzröhre gegeben werde. Die Zunge einer volltönenden Pfeife in einen Schraubstock eingespannt und mit dem Violinbogen gestrichen, tönte nur äusserst schwach. Die Ansatzröhre konnte immer weiter verkürzt, ja fast ganz weggenommen werden, ohne dass der Ton der Zungenpfeife in gleichem oder auch nur in annäherndem Verhältnisse schwächer wurde. Es bleibt demnach nur übrig, die Entstehung des Tones den Stössen zuzuschreiben, welche die eingeblasene Luft, da sie abwechselnd durch die Spalte austritt oder von der Zunge gehemmt wird, auf die jenseits befindliche ruhende Luft ausübt. Die Anzahl dieser Stösse, also die Tonhöhe der Pfeife ist durch die Zahl der Schwingungen der Zunge bedingt. Allein die Zunge, von der eingeblasenen Luft in Bewegung gesetzt, vermag nicht ausschliesslich den Gesetzen der Querschwingungen elastischer Stäbe zu folgen. Ihre Schwingungen stehen unter dem Einfluss der Reaction, welche die stehenden Oscillationen der Luftsäule im Ansatzrohr auf sie ausüben. Die Tonhöhe ist mithin auch von der Länge dieses letzteren abhängig.

Weber hat auf zwei Vorzüge aufmerksam gemacht, welche die Zungenpfeife in Folge ihrer Zusammensetzung aus zwei elementaren Tonquellen vor andern Instrumenten voraus hat. Ein feines musikalisches Gehör unterscheidet sehr wohl, dass alle Töne, welche aus Längenschwingungen hervorgehen, wie die Töne von Pfeifen und longitudinal schwingenden Stäben etwas in die Höhe gehen, wenn sie über eine gewisse Grenze hinaus verstärkt werden, während umgekehrt die Dauer der Querschwingungen mit der Grösse derselben etwas zunimmt. Eine Stimmgabel z. B. tönt im Abklingen etwas höher. Da die Tonhöhe einer Zungenpfeife einerseits durch die Querschwingungen der Zunge, andererseits durch die Längenschwingungen stehender Luftwellen bedingt wird, so ist es leicht, die beiden Elementarbestandtheile so gegeneinander abzugleichen, dass die bei der Tonverstärkung auftretenden entgegengesetzten Effekte sich gerade ausgleichen. Eine solche compensirte Zungenpfeife gibt einen Ton, welcher vom leisesten Hauche bis zum stärksten Ansprechen sich auf genau gleicher Höhe erhält.

Eine andere Folge der Zusammensetzung der Zungenpfeife aus zwei elementaren Tonquellen ist die, dass der Ton ein einfacher, von Beitönen vollkommen freier ist. Eine Saite oder Flötenpfeife oder ein schwingender Stab, lassen neben dem Grundton meist noch, wenn auch schwach, die ersten der harmonischen Obertöne hören, indem sich von selbst schwingende Unterabtheilungen bilden, welche neben den stärkeren Schwingungen des Grund-

tones bestehen. Da aber die Reihe der Aliquottöne für die Zunge eine ganz andere ist, als für die Luftsäule des Ansatzrohrs, so vermögen für die Obertöne die Schwingungen der beiden Bestandtheile sich nicht zu unterstützen und es werden darum keine Beitöne gehört.

535. Wir kommen nun auf einen Fall der Interferenz zweier Wellensysteme zurück, welcher sich mit gewöhnlichen Orgelpfeifen am Besten hörbar machen lässt, und welcher für die wissenschaftliche Akustik dadurch ein besonderes Interesse gewonnen hat, dass es gelungen ist, eine Methode der Messung der Schwingungszahlen und ein Verfahren der Stimmung musikalischer Instrumente darauf zu gründen, welche an Genauigkeit der Resultate alle früher bekannten Methoden (No. 512) weit hinter sich lassen.

Tartini hatte um die Mitte des 18ten Jahrhunderts bemerkt, dass bei gleichzeitigem Anschlagen zweier Töne, welche in einem einfachen harmonischen Verhältnisse stehen, wie vom Grundton mit Terz, Quarte oder Quinte, ausser jenen beiden noch ein dritter, weit tieferer Ton hörbar werde, ebenfalls von einfacher harmonischer Beziehung zu den beiden ursprünglichen Tönen Diese tieferen Töne, welche den Namen Combinationstöne erhielten, erklären sich aus dem Zusammenwirken der Wellenzüge, welche die beiden ursprünglichen Töne tragen. Gesetzt, ein Grundton sammt grosser Terz sind gleichzeitig so angegeben, dass die vierte Verdichtungswelle des ersten mit der fünften Verdichtungswelle des zweiten Tons gleichzeitig zum Ohre des Hörers gelangt, so machen diese einen stärkeren Eindruck, als die folgenden Verdichtungswellen, welche nicht gleichzeitig wirken. Allein bei jeder vierten Schwingung des ersten Tones kehrt die nämliche verstärkte Wirkung wieder. Findet diess in einer Sekunde mehr als 8 bis 10 mal statt, so verbinden sich diese periodisch verstärkten Eindrücke zu einem Tone, dessen Schwingungszahl zu der des angegebenen Grundtones im Verhältniss von 1 : 4 steht.

Es ist die tiefere Doppeloktave des Grundtons. $\bar{c}$ von 264 Schwingungen mit $\bar{e}$ von 330 Schwingungen gibt als Combinationston C von 66 Schwingungen. 66 ist das grösste gemeinschaftliche Mass der Zahlen 264 und 330 und man sieht leicht ein, dass man immer, um die Schwingungszahl des Combinationstons zu finden, das grösste gemeinschaftliche Mass der Schwingungszahlen der ursprünglichen Töne zu suchen hat. (Ueber Combinationstöne höherer Ordnung, ihre Erklärung und die Ursachen ihrer vorzugsweisen Hörbarkeit s. Hallström in Pogg. Ann. XXIV, 438.)

536. Bei gleichzeitigem Anschlagen von zwei Tönen, welche vom Einklang oder von einem andern mathematisch reinen Intervall nur um ein Geringes verschieden sind, hört man anstatt eines Combinationstones nur abwechselnde Ab- und Zunahmen der Tonstärke, sogenannte Schwebungen oder Stösse. Auch diese Erscheinung erklärt sich leicht aus dem Zusammenwirken der Wellen. Gesetzt, ein Ton von 66 und ein anderer von 67 Schwingungen würden gleichzeitig angeschlagen, der erste mit einer Verdichtungswelle, der zweite mit einer Verdünnungswelle beginnend, so heben sich diese im ersten Augenblicke auf; allein bei der ungleichen Dauer beider Schwingungen verschieben sich die entgegengesetzten Wellenhälften der Zeit nach immer mehr und einmal während der ersten Sekunde treffen die Verdichtungswellen beider Töne genau zusammen, am Ende des Zeitabschnittes ist das Verhältniss wieder dasselbe wie am Anfang, in der nächsten Sekunde wiederholen sich die nämlichen Beziehungen, und man vernimmt daher in jeder Sekunde einen Stoss. Stellt man die beiden Wellenzüge durch Curven dar und bildet das zusammengesetzte Wellensystem, so stellt sich das Anschwellen und Abnehmen des resultirenden Systems dem Auge dar. — Zwei Töne von 66 und von 68 Schwingungen oder von 66 und 64 Schwingungen geben in einer Sekunde ein zweimaliges Anschwellen und Abnehmen, also zwei Stösse; überhaupt ist bei zwei Tönen, welche sich

nur wenig vom Einklang entfernen, die Anzahl der in einer Sekunde vernommenen Stösse dem Unterschied der Schwingungszahlen gleich. Wenn man die beiden Töne längere Zeit auf gleicher Höhe anhalten kann, wie dies bei einer gut construirten Orgel oder bei Stimmgabeln, welche auf einen Resonanzboden aufgeschraubt und vor ungleicher Temperatur geschützt werden, der Fall ist, so lässt sich mit Hülfe eines Sekundenzählers die auf eine Sekunde kommende Stosszahl mit Genauigkeit messen. Scheibler hat hierauf eine Methode gegründet, die Schwingungszahl eines Tones zu messen. Er bestimmt die Stosszahl des Tons mit einem benachbarten höheren, dann zwischen diesem letzteren und einem wieder etwas höheren und so fort, bis er zu der rein gestimmten Oktave des Grundtons gelangt ist. Die Summe aller gemessenen Stosszahlen ist gleich dem Unterschied der Schwingungszahl des Grundtons und der Oktave, also gerade der Schwingungszahl des Grundtons gleich.

Die Genauigkeit des Resultates leidet etwas durch die grosse Anzahl von Messungen, welche hier erforderlich sind. Scheibler war daher bemüht, ohne das Prinzip seiner Methode zu ändern, dieselbe dadurch zuverlässiger und brauchbarer zu machen, dass er anstatt des Einklangs, andere Intervalle in Anwendung zu bringen suchte. Demgemäss bestimmte er auf rein experimentellem Wege die Verhältnisse, nach welchen die Stosszahl mit der Abweichung von der Reinheit, bei Benutzung anderer Intervalle als des Einklangs sich ändert. Die Resultate seiner Beobachtungen, für welche später Vincent*) das allgemeine Gesetz aufgefunden hat, (Ann. chim. phys. [3] XXVII. 191) sind in der folgenden Tafel enthalten.

Nr.	Art der Consonanz.	Verhältniss.	Schwingungen mehr oder weniger für 1 Stoss.		Stösse mehr oder weniger für 1 Schwingung.	
			höherer Ton.	tieferer Ton.	höherer Ton.	tieferer Ton.
1	Einklang	1 : 1	1	1	1	1
2	Oktave	2 : 1	1	$\frac{1}{2}$	1	2
3	Doppeloktave	4 : 1	1	$\frac{1}{4}$	1	4
4	Quinte	3 : 2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	2	3
5	Quarte	4 : 3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	3	4
6	Grosse Terz	5 : 4	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	4	5
7	Kleine Terz	6 : 5	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	5	6
8	Grosse Sexte	5 : 3	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	3	5
9	Kleine Sexte	8 : 5	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{8}$	5	8
10	Duodecime	3 : 1	1	$\frac{1}{3}$	1	3
11	Decime	5 : 2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{5}$	2	5
12	Septemdecime	5 : 1	1	$\frac{1}{5}$	1	5

*) Wenn $\frac{m}{n}$ das harmonische Verhältniss zweier Töne in den einfachsten Zahlen ausdrückt, wenn km und kn die wirklichen Schwingungszahlen dieser Töne sind, so weist Vincent nach, dass zwei Töne von dem Schwingungsverhältniss $\frac{km + m'}{kn + n'}$ einen Stoss in einer Sekunde geben, wenn $\frac{m'}{n'}$ der dem Verhältniss $\frac{m}{n}$ am nächsten kommende Nähe-

Hat man hiernach z. B. beim Anschlagen eines Grundtones mit einer etwas zu hoch gestimmten Quinte, in der Sekunde Einen Stoss, so darf man schliessen, dass der höhere Ton $\frac{1}{2}$ Schwingung weniger oder der tiefere $\frac{1}{3}$ Schwingung mehr machen müsste, wenn die volle Reinheit hergestellt werden sollte. Eine Abweichung von einer Schwingung im tieferen Ton würde demnach drei Stösse, eine Abweichung von einer Schwingung im höheren Ton würde zwei Stösse in der Sekunde geben.

Die Anwendbarkeit obiger Tafel sowohl auf die Stimmung rein mathematischer Intervalle als auf die Tonmessung, leuchtet ein. Um eine Oktave rein zu stimmen, richtet man sie so ein, dass sie mit einem in ihrer Nähe gewählten Hülfston eben so viel Stösse gibt, als der Grundton. Hat man den Hülfston in der Nähe des Grundtons gewählt, so gibt die Oktave doppelt so viel Stösse mit demselben als der Grundton. Die reine Stimmung einer Oktave beurtheilt ein einigermassen geübtes Ohr mit grosser Schärfe, bei andern Intervallen leistet daher die Anwendung der Stösse verhältnissmässig grössere Dienste.

Bei Tonmessungen auf der Orgel geht man gern auf die grosse Oktave zurück, weil bei dieser die Stosszahl benachbarter Töne noch unmittelbar messbar ist. Anstatt die auf eine Sekunde kommende Anzahl von Stössen direkt zu messen, bedient man sich eines Metronoms, d. h. eines Pendels, dessen Schwingungsdauer nach einer an demselben befindlichen Theilung innerhalb gewisser Gränzen beliebig geändert werden kann. Man stellt dann unter allmähliger Annäherung das Pendel so, dass eine leicht zählbare Menge von Stössen, etwa 4, 5 oder 6, gerade auf einen Pendelschlag kommen und reducirt nachher auf die Sekunde. Hätte man die Schwingungszahl eines Tones e zu messen, so wäre es leicht, nach der oben beschriebenen Methode die Töne E und G im rein mathematischen Intervallenverhältniss nach e zu stimmen. Misst man alsdann die Stosszahl zwischen E und G, so hat man $E = \frac{1}{2}$ e, $G = \frac{6}{5} E = \frac{3}{5}$ e, also $G - E = \frac{1}{10}$ e, d. h. es ist die Summe der gemessenen Stosszahl zu verzehnfachen, um die Schwingungszahl von e zu finden.

---

rungsbruch ist, welchen man bei Verwandlung von $\frac{m}{n}$ in einen Kettenbruch erhält. Das Verhältniss $\frac{k m + m'}{k n + n'}$ kann aber ohne einen in akustischer Beziehung in Betracht kommenden Fehler auf folgende zwei Arten dargestellt werden:

$$\frac{k m \pm \frac{1}{n}}{k n} \quad \text{oder} \quad \frac{k m}{k n \pm \frac{1}{m}}$$

Ein Stoss entspricht also einer Abweichung von der Reinheit des Intervalls von $\frac{1}{n}$ Schwingung im unteren Ton, oder von $\frac{1}{m}$ Schwingung im oberen Ton. Es ist dabei gleichgültig, ob die Abweichung nach Oben oder nach Unten stattfindet. Eine Abweichung von Einer Schwingung gibt daher n Stösse, eine gleiche Abweichung im oberen Tone m Stösse in der Sekunde. Es ist leicht, die Uebereinstimmung der in obiger Tafel enthaltenen Fälle mit dieser allgemeinen Formel zu erkennen.

Auch auf die Stimmung der temperirten Skale hat Scheibler, welcher diesen Gegenstand mit unermüdlichem Fleisse verfolgte, die beschriebene Methode angewendet. Er übertrug für die 12 Töne einer Oktave der temperirten Skale Hülfs- oder Nebentöne auf Stimmgabeln, so dass jede Gabel mit dem richtigen Tone 4 Stösse auf Pendel 60 (60 Schläge in der Minute) geben musste. Mit Hülfe dieser Gabeln kann auch eine Person, welche ohne alles musikalische Gehör ist, ein Instrument stimmen; es müssen die 12 richtig temperirten Töne nach dem eben beschriebenen Verfahren in die oberen und unteren Oktaven übertragen werden. Wie indessen auch ohne jene 12 Nebengabeln die temperirte Stimmung einer Orgel oder eines Klaviers auf den Grund der oben S. 534 mitgetheilten Schwingungsverhältnisse der gleichschwebend temperirten Skale mit Hülfe der Stösse aufgefunden werden kann, darüber geben die nachfolgenden Schriften Scheibler's und Andrer Auskunft:

H. Scheibler, über musikalische und physikalische Tonmessung und deren Anwendung auf Pianoforte- und Orgelstimmung, Crefeld 1838. Löhr. über die Scheibler'sche Erfindung überhaupt und dessen Pianoforte- und Orgelstimmung insbesondere, Crefeld 1837. Röber, Pogg. Ann. XXXII, 333 und 492, Figur dazu im XXXI Bande.

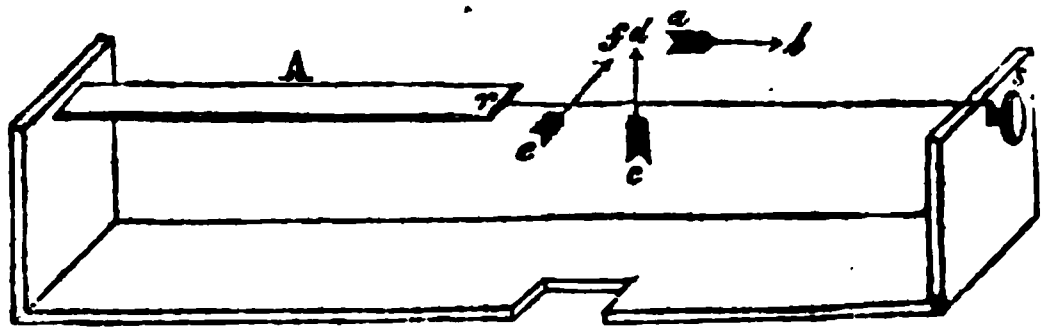
537. Die Gesetze der Saitenschwingungen sind oben (No. 491) vollständig entwickelt worden. In der Musik macht man ausschliesslich Gebrauch von den Querschwingungen der Saiten, welche durch den Schlag kleiner Hämmer (Flügel, Pianoforte), durch Reissen mit den Fingern oder einem Stifte (Harfe, Guitarre, Cither), oder endlich durch Streichen mit einem Strang mit Harz eingeriebener Rosshaare (Streichinstrumente) erregt werden. Eine Saite gibt ihren tiefsten Ton, wenn sie in ihrer ganzen Länge schwingt, doch macht man in der Musik auch Gebrauch von den Aliquot- oder Flageoletönen der Saiten, welche durch Unterabtheilung derselben in 2, 3, etc. gleiche Theile entstehen.

538. Bei den Pfeifen wird das in den stehenden Schwingungen der Luftsäule enthaltene Bewegungsmoment fast ganz auf die Schallwellen übertragen, welche den Ton dem Hörer zuführen; nur ein sehr geringer Theil geht durch Reibung der Luft an den Wänden oder durch Erschütterung derselben verloren. Anders verhält es sich mit dem Ton der Saiten. Bei der geringen Oberfläche, welche diese Fäden von Metall oder gewundener Membran der Luft darbieten, stellt sich ein ungünstiges Verhältniss heraus zwischen dem Theil des Bewegungsmomentes, welcher auf die Luft und demjenigen, welcher durch Reibung und Stoss an den Befestigungspuncten auf die Unterlage übertragen wird. Eine Saite zwischen zwei Bleimassen ausgespannt, tönt nur äusserst schwach. An allen Saiteninstrumenten ist daher eine Einrichtung getroffen, um auch den auf die Unterlage übergehenden Theil des Bewegungsmomentes für den Ton nutzbar zu machen und man nennt diess: die Tonverstärkung durch Resonanz.

Savart verdankt man die Erforschung der allgemeinen Gesetze, welche bei der Mittheilung der Schwingungsbewegung herrschen. Er fand zunächst, dass die primäre Verschiebung der Moleküle stets derjenigen an der Erregungsstelle parallel bleibt, über wie viel verschiedene Theile eines Systems aus starren und tropfbar-flüssigen Körpern eine Schwingungsbewegung sich auch verbreiten mag. Nur als sekundäre Erscheinung können dann auch Schwingungen in anderm Sinne auftreten. Um diese Thatsache an einem einfachen Falle anschaulich zu machen, kann man sich des folgenden Apparates bedienen. An einem rechteckigen Gestelle (Fig. 247) ist ein Brettchen *A* von geradefaserigem Fichtenholz befestigt und in der Verlängerung desselben eine Saite *rs* ausgespannt, welche durch Reiben mit einem Lap-

pen in der Richtung *a b* in Längenschwingungen oder durch Streichen mit dem Violinbogen nach der Richtung *c d* oder *e f* in Querschwingungen ver-

Fig. 247.



setzt werden kann. Hat man vorher das Brettchen *A* mit feinem trockenem Quarzsand bestreut, so zeigt die Bewegung desselben und seine Anordnung in Knotenlinien, dass die Richtung der Molekularschwingungen im Brettchen derjenigen der Saite parallel ist.

Wenn verschiedene Körper fest miteinander verbunden sind, so kann sich nur ein solcher Bewegungszustand behaupten, bei welchem das ganze System im Einklange schwingt. Jede Ursache, welche die Schwingungsdauer eines einzelnen Theils verändert, äussert ihren Einfluss auf die Tonhöhe des schwingenden Systems.

Sind dagegen die einzelnen Theile nur gegeneinander gelehnt, wie die Saite gegen den Resonanzboden, so schwingt der ursprünglich erregte Theil allein, gemäss seiner Form, Elasticität und Dichte, und dieselbe Schwingungsdauer überträgt sich unverändert auf die übrigen Theile, freilich je nach der Beschaffenheit derselben mit grösserem oder geringerem Erfolge. Am vollkommensten überträgt sich der Schwingungszustand eines Körpers auf einen andern dann, wenn beide, für sich angeschlagen, einen gleichen Ton geben würden, also gleich gestimmt sind. In diesem Fall vermögen die Luftwellen allein schon einen hörbaren Schwingungszustand von einem Körper auf einen andern in gewisser Entfernung zu übertragen, indem die leisen Stösse der Luft sich häufig und gerade in den rechten Zeitabschnitten wiederholen, um ihre Wirkungen zu summiren. Beim lauten Sprechen oder Singen in einem Zimmer hört man die gleichgestimmten Saiten an einem in demselben Raume befindlichen Instrumente plötzlich erklingen. Noch auffallender kann man diese Erscheinung wahrnehmen, wenn zwei grosse, vollkommen gleich gestimmte und auf Resonanzkästchen aufgeschraubte Stimmgabeln nebeneinander aufgestellt werden und man dann die eine derselben anschlägt und nachdem sie kurze Zeit erklungen, ihre Schwingungen hemmt. Man hört dann den nämlichen Ton in merklicher Fülle von der andern Gabel ausgehen.

Eine solche vortheilhafte Resonanz kann man indessen an den Instrumenten, welche eine grosse Anzahl von Tönen geben sollen, nicht anwenden. Bei den Saiteninstrumenten begnügt man sich, sämmtlichen Saiten einen Stützpunct auf einem solchen Körper zu geben, welcher bei hoher Elasticität ein hinreichend geringes Gewicht besitzt, um jeden Schwingungszustand mit Leichtigkeit anzunehmen. Man gibt demselben eine flache Form, damit seine Schwingungen sich auf einer grossen Fläche der Luft mittheilen. Glas, Stahl und Fichtenholz entsprechen den genannten Anforderungen bezüglich ihrer Elasticität und Dichte ungefähr in gleichem Masse; allein der Klang, welchen die beiden ersten Körper in dünnen Platten geben, ist bei Weitem weniger angenehm, als der des geradefaserigen Fichtenholzes; es wird daher der letztere Körper ausschliesslich zu Resonanzböden angewendet. An dem Stege, einem quer über den Resonanzboden laufenden Holze, auf welches sich sämmtliche Saiten stützen, findet die Mittheilung der Bewegung statt; Stäbe, welche unter dem Resonanzboden seiner Länge

nach laufen, sind bestimmt, die Eintheilung in einzelne schwingende Felder zu verhindern, und somit die Fichtenplatte zu nöthigen, als Ganzes den Schwingungen der Saite zu folgen. Dieselben übertragen sich dann am Kräftigsten auf die umgebende Luft.

Auch die Luftmassen, welche in den Kästen der Guitarre, der Streichinstrumente und des Klaviers eingeschlossen sind, dienen als Resonanzmittel, indem sie, den Schwingungen der Resonanztafel und des Bodens folgend, selbst in stehende Oscillationen gerathen. Savart hat durch zahlreiche Versuche gefunden, dass die Grösse dieses Luftvolums keineswegs gleichgültig ist und man von den Verhältnissen, welche bei den Streichinstrumenten nicht durch die wissenschaftliche, sondern durch die technische Experimentirkunst festgestellt worden sind, nicht abweichen darf, ohne der Güte der Instrumente Eintrag zu thun.

539. Das schönste aller musikalischen Tonwerkzeuge, die menschliche Stimme, ist den Akustikern lange ein Räthsel gewesen, wennschon man nicht bezweifeln konnte, dass sie in dem aus Knorpeln gebildeten oberen Theil der Luftröhre, dem sogenannten Kehlkopfe ihren Sitz hat. Während aber von einer Seite angenommen wurde, dass die im Kehlkopfe ausgespannten, aus höchst elastischem Gewebe bestehenden häutigen Bänder, die Stimmbänder, welche der Luft zwischen sich nur einen schmalen Durchgang in der sogenannten Stimmritze lassen, nach Art der Saiten schwängen und tönten; vertheidigte einer der einsichtsvollsten Forscher im Gebiete der Akustik, Savart, die Ansicht, dass die menschliche Stimme nach der Art des Tones einer Flötenpfeife zu Stande komme. J. Müller betrat zuerst den wahren experimentellen Weg und wies nach, dass die menschliche Stimme als ein Zungenwerk zu betrachten sei, bei welchem jedoch, wegen der Weichheit und Dehnbarkeit der Stimmbänder, welche hier die Stelle der Metallzunge der gewöhnlichen Zungenpfeifen vertreten, einige Modifikationen in den Gesetzen der Tonerzeugung eintreten. Müller überzeugte sich durch Experimente an natürlichen Exemplaren, dass die Luftröhre nur als Anblaserohr dient, die oberen Räume des Kehlkopfs, der Mund- und Nasenhöhle, als Resonanzmittel dienen und den Klang der Stimme modificiren, dass die Tonhöhe aber allein durch die Schwingungsdauer der Stimmbänder bedingt ist. Diese hängt hauptsächlich ab von dem Grade der An- oder Abspannung der Stimmbänder, erzeugt durch Muskeln, welche die kleinen Knorpel, woran die vorderen Enden jener elastischen Bänder befestigt sind, vor- oder rückwärts ziehen. Indem Müller einen natürlichen Kehlkopf aufspannte und die Wirkung der Muskeln durch den Zug von Gewichten ersetzte, vermochte er durch Eintreiben von Luft beinahe den ganzen Umfang der menschlichen Stimme hervorzubringen. Doch kann auch, abweichend von dem Verhalten starrer Zungen, der Ton membranöser Zungen bei gleichbleibender Spannung durch stärkeres Blasen in die Höhe getrieben werden. Ueberhaupt sprechen die tieferen Töne schon bei geringerem Drucke an, ganz leise schon bei einem Drucke, welcher durch eine Wassersäule von 1,5 bis 2 Centimeter gemessen wird, während zum leisesten Ansprechen z. B. von $\bar{a}$ schon ein Druck von etwa 16 Centimeter erfordert wird.

Endlich glaubt Müller sich überzeugt zu haben, dass bei dem Ansprechen des zweiten Registers der menschlichen Stimme, der sogenannten Falsett- oder Fistelstimme nur die äussersten, der Stimmritze zunächst liegenden Ränder der Stimmbänder unter Einwirkung eines verhältnissmässig geringen Luftdrucks in Schwingung versetzt werden.

Alle Theile des Kehlkopfs, insbesondere die Stimmbänder und die Stimmritze, sind bei dem weiblichen Geschlechte von geringerer Grösse als bei dem männlichen und es ist in Folge hiervon der musikalische Umfang der Stimme verschieden. Bass (F bis $\bar{es}$), Baryton (B bis $\bar{f}$), und Tenor

(c bis $\bar{b}$) finden sich nur bei Männern; Alt (f bis $\bar{f}$) und Sopran ($\bar{c}$ bis $\bar{\bar{c}}$) dagegen bei Weibern und Kindern. Der gewöhnliche Umfang einer einigermassen geübten Stimme beträgt zwei Oktaven.

549. Das Gehörorgan. — Der Apparat, welcher Menschen und Thieren zur Aufnahme von Schallwellen dient und die Empfindung der Töne vermittelt, ist seinem anatomischen Baue nach sehr genau, der physiologischen Bedeutung der einzelnen Theile nach nur unvollkommen erforscht. Ein vom Gehirn ausgehender Nervenstrang ist auch hier, wie bei jeder Sinneswahrnehmung, der wesentlichste Theil. Derselbe breitet sich bei dem menschlichen Ohre mit seinen feinen Endfasern im Innern dreier engen Röhren, der halbcirkelförmigen Kanäle und zweier schneckenartig zusammengewundener Gänge, der Schnecke, aus, welche aus knöchernen Wänden gebildet, in die festeste Knochenmasse des Schädels eingelagert sind. Diese Räume, das sogenannte knöcherne Labyrinth, sind mit schlauchförmiger Membran, dem häutigen Labyrinth, ausgekleidet und dieses mit einer wässerigen Flüssigkeit, dem Gehörwasser, welches die feinen Fasern des Gehörnervs umspült, gefüllt. Die Schallwellen, welche auf die Ohrmuschel treffen, dringen durch den äusseren Gehörgang ein und treffen auf eine feine gespannte Membran, das Trommelfell, welche die sogenannte Trommel- oder Paukenhöhle gegen den äusseren Gehörgang abschliesst. Die Leitung der Schallschwingungen vom Trommelfell durch die Trommelhöhle zum Gehörwasser des Labyrinths und somit zum Nerven geschieht auf zwei Wegen. Die Gänge des Labyrinths münden in die Trommelhöhle durch zwei mit feiner Haut geschlossene Oeffnungen, der untere Gang der Schnecke durch das runde Fenster, die Erweiterung eines der halbcirkelförmigen Kanäle, der sogenannte Vorhof, in welchen auch der obere Schneckengang mündet, durch das ovale Fenster. Die Membran des runden Fensters wird durch die Wellen erschüttert, welche durch die Luft der Trommelhöhle fortgehen. Die Leitung zum ovalen Fenster, welche nach J. Müllers Beobachtungen an nachgeahmten, künstlichen Apparaten, die wirksamere sein soll, wird durch eine Kette äusserst feiner und zierlicher Knöchelchen vermittelt, welche ineinander eingelenkt sind. Das erste Knöchelchen, der Hammer, ist mit einem Fortsatz ins Trommelfell verwachsen, während der andere Fortsatz auf dem zweiten Knöchelchen, dem Ambos, ruht. Es folgen dann das linsenförmige Bein und der Steigbügel, welcher mit seiner unteren Fläche so auf dem ovalen Fenster aufsteht, dass ringsum nur ein schmaler häutiger Rand bleibt, an welchem der Steigbügel unter dem Einfluss des Schallwellen hin und her zittert.

Die Luft in der Trommelhöhle wird durch einen nach der

Mundhöhle hinführenden Gang, die Eustachische Röhre, mit der äussern Luft auf gleicher Spannung erhalten. Wenn bei Verstopfung dieser Röhre, durch Luftabsonderung im Innern, oder durch Krankheit der Spannmuskeln des Trommelfells, dieses in einen Zustand allzugrosser Anspannung versetzt ist, tritt Schwerhörigkeit ein, welche indessen mit Entfernung der Ursache aufhört. Noch leichter ist der Fehler zu verbessern, wenn die Schwerhörigkeit durch Verstopfung des äussern Gehörgangs, durch Schmutz oder dergl. herbeigeführt ist. Das Gehör leidet, verschwindet aber nicht, wenn die Kette der Gehörknöchelchen zerstört wird; es besteht dagegen nicht länger, wenn eines der vom Labyrinth zur Trommelhöhle führenden Fenster geöffnet wird, das Gehörwasser ausfliesst und der trocken gelegte Gehörnerv abstirbt.

Man hat, weil Schallwellen nicht allein durch die Luft, sondern auch durch die feste Knochenmasse des Kopfes zum Gehörnerven geleitet werden, ein einfaches Mittel, um zu beurtheilen, ob der Nerv noch lebt und in Thätigkeit ist. Ein Metallstück, an eine Schnur befestigt, welche man zwischen den Zähnen hält, oder eine Stimmgabel auf den Kopf aufgesetzt, müssen, wenn sie zum Tönen gebracht werden, auch bei anscheinender Taubheit noch vernehmbar sein, wenn die Krankheit nicht in dem Nerven selbst ihren Sitz hat.

Was übrigens den Gehörnerv vor andern Nerven befähigt, die Schallschwingungen als Ton zu empfinden und die Schnelligkeit, mit welcher sich diese Schwingungen wiederholen, mit so grosser Leichtigkeit zu schätzen, ist eben so wenig bekannt, als zu welchem Zweck die halbcirkelförmigen Kanäle und die Schnecke ihre eigenthümlichen Formen haben.

XII. Von dem Lichte.

Erste Abtheilung.

541. Die Natur hat uns die Fähigkeit verliehen, Gegenwart, Gestalt, Grösse, Farbe der Körper aus der Entfernung zu erkennen, die Körper zu sehen. Das Organ, durch dessen Besitz wir dieses Vermögen erlangen, das Auge, ist jedoch nur die vermittelnde Geräthschaft zu diesem Zwecke, die Ursache des Sehens kommt von Aussen. Die Körper, um für uns sichtbar zu sein,

müssen nicht nur dem Auge gegenüberstehen, sondern auch sich in einem gewissen Zustande, in dem des Leuchtens befinden. Sie bewirken dann einen eigenthümlichen Eindruck auf den Gesichtssinn, sie bringen darin diejenige Empfindung hervor, die wir Helligkeit nennen. Die äussere Ursache dieser Einwirkung heisst Licht.

Die meisten Körper besitzen nicht selbstständig das Vermögen, Lichteindrücke hervorzubringen, und sind dann nicht durch ihre blosse Gegenwart sichtbar. Mann nennt sie nicht leuchtende oder dunkle Körper, zur Unterscheidung von den selbstleuchtenden oder den Lichtquellen. Zu den letzteren gehören die Sonne, die Fixsterne, die Flamme.

Durch genügende Temperaturerhöhung können alle Körper glühend, d. h. selbstleuchtend werden. — Licht durch Verbrennung oder andere chemische Verbindungsprozesse; electriches Licht. — Manche Körper werden schon durch geringe Temperaturerhöhung, oder nachdem sie eine kurze Zeit den Sonnenstrahlen ausgesetzt waren (durch Insolation) im Dunklen leuchtend, ohne dadurch eine merkliche Aenderung ihrer chemischen Beschaffenheit zu erfahren. Man nennt diese Erscheinung Phosphorescenz.

In sehr auffallendem Grade zeigt sie der Flussspath, von dem einige Sorten schon unter dem Siedpuncte leuchtend werden; Diamant, Schwefelbarium, Schwefelcalcium, Arsenikcalcium und andere Kalkverbindungen. Mehrere dieser Körper, wenn sie durch Bestrahlung phosphorescirend geworden sind, behalten im Dunklen und im verschlossenen Raume aufbewahrt, diese Eigenschaft oft mehrere Stunden und selbst Tage lang bei.

Das schwache Leuchten des faulen Holzes, faulender Seefische und einiger Insekten beruht, wie das des Phosphors auf einer langsamen Verbrennung. — Phosphorescenz des Meeres.

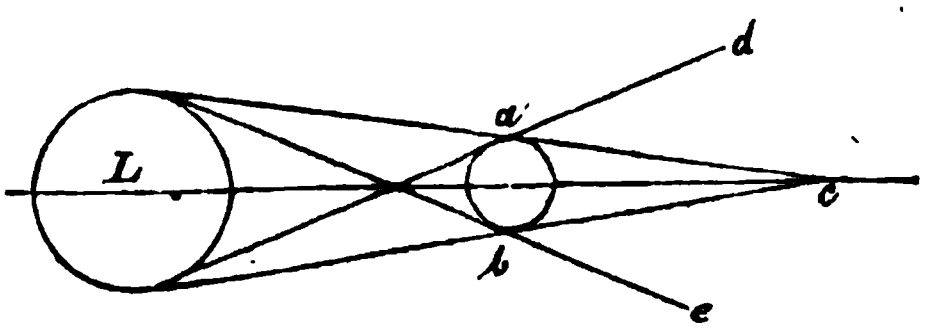
542. In der Umgebung eines stark leuchtenden Körpers erscheinen die ursprünglich dunklen ebenfalls leuchtend und werden dadurch sichtbar.

Der Eindruck eines leuchtenden Körpers auf das Auge wird durch viele andere Körper aufgehoben, sobald sie in die gerade Linie zwischen das Auge und den leuchtenden gelangen. Wieder andere, wie Luft, Glas, Wasser lassen Lichteindrücke durch. Man unterscheidet daher undurchsichtige und durchsichtige Körper. Solche Körper, die zwar etwas Licht durchlassen, aber dem Auge nicht gestatten, die Quelle desselben zu erkennen, nennt man durchscheinende.

Der Raum hinter einem undurchsichtigen Körper, z. B. der Raum hinter einem Schirme, in welchen das Licht nicht eindringen kann, heisst der Schatten des ersteren. Wenn die Lichtquelle nur ein Punct ist, und man von diesem aus gerade Linien nach dem Rande des Schirmes zieht, so wird der Schatten desselben genau durch die Verlängerungen dieser Linie begränzt; so dass der Schatten im Allgemeinen die Umrisse des

Gegenstandes selbst wiedergibt. Hat hingegen die Lichtquelle einen beträchtlichen Umfang, so ist der Schatten nicht scharf begränzt, sondern es findet von dem inneren Theile desselben *a b c* (Fig. 248), dem sogenannten Kernschatten, in welchen gar

Fig. 248.



kein Licht von dem Körper *L* aus gelangen kann, bis zur äussersten Umgränzung, durch die verschiedensten Abstufungen der Helligkeit, ein allmählicher Uebergang statt. Dieser äussere Theil des Schattens, innerhalb dessen ein um so grösserer Theil des leuchtenden Körpers sichtbar bleibt, je näher sich das Auge an den Gränzlinien *a d* oder *b e* befindet, wird Halbschatten genannt. — Ganze und theilweise Verfinsterungen der Erde und des Mondes. —

Aus dem Verhalten des Schattens geht hervor, dass die Lichtwirkungen in gerader Linie fortschreiten. Einen ferneren Beweis für diesen Fundamentalsatz der Lichtlehre findet man in der Erfahrung, dass wenn eine Platte mit enger Oeffnung zwischen das Auge und einen kleinen Gegenstand gestellt wird, letzterer nur dann sichtbar ist, wenn die von demselben gegen die Oeffnung gerichtete Gerade zugleich in das Auge fällt. — Anwendungen auf die Lehre der Perspective. Perspectivische Zerrbilder oder Anamorphosen.

Eine gerade Linie von einem leuchtenden Puncte aus nach beliebiger Richtung gezogen, heisst Lichtstrahl. Dieser Ausdruck ist unabhängig von jeder Vorstellung über die Ursache des Lichtes und soll nur die Thatsache bezeichnen, dass die Fortpflanzung von dem Lichtpuncte aus nach geraden Linien und nach allen Richtungen geschieht.

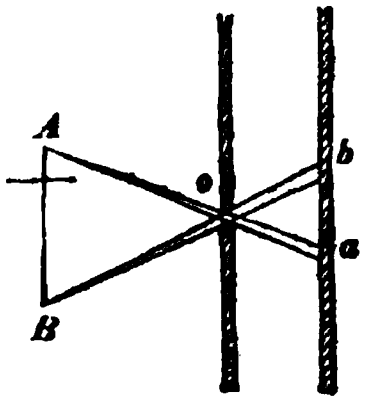
Ein kegelförmiger Raum, der einen leuchtenden Punct zum Scheitel, die Pupille des Auges, oder irgend eine andere kleine Fläche zur Basis hat, wird Lichtkegel (auch Lichtbündel, Strahlenkegel) genannt. Die Axe des Kegels heisst Hauptstrahl.

543. Befindet sich einem leuchtenden Gegenstande gegenüber ein Schirm und in diesem eine enge Oeffnung, gleichgültig ob rund, dreieckig, viereckig oder wie sonst gestaltet, so dringt durch dieselbe von jedem Lichtpuncte aus ein Bündel Lichtstrahlen. Auf einer weissen Wand, hinter der Oeffnung, er-

zeugt sich dann ein verkehrtes Bild, dessen Grösse (lineare Dimension) sich zu der des Gegenstandes verhält, umgekehrt wie beider Abstände von der Oeffnung.

Es ist leicht, zu sehen, dass jeder Lichtpunct eines Gegenstandes *A B* (Fig. 249) nur einen einzigen kleinen Fleck auf der weissen Wand beleuchten kann und dass folglich die von verschiedenen Puncten aus erzeugten hellen Flecke eine dem Gegenstande selbst ähnliche Figur bilden müssen, deren Grösse in demselben Verhältnisse wie der Abstand der weissen Wand von der Oeffnung zunimmt. — Bilder der Sonne, im Schatten dicht belaubter Bäume, hervorgebracht durch das hier und da zwischen den Blättern durchfallende Licht. —

Fig. 249.



Auf ähnliche Weise kann man in jedem verdunkelten Raume, Bilder aussen befindlicher Gegenstände erhalten, wenn man den von diesen ausgehenden Lichtstrahlen nur durch eine enge Oeffnung den Zutritt gestattet. Die Umrisse dieser Bilder sind jedoch immer etwas verwaschen, weil jeder Punct von welchem Licht ausgeht, im Bilde nicht wieder einen Punct, sondern eine kleine Fläche beleuchtet. Die von verschiedenen Lichtpuncten beleuchteten Flecke greifen bei zunehmender Grösse der Oeffnung mehr und mehr in einander. In demselben Verhältnisse verlieren die Bilder an Deutlichkeit und verschwinden bei sehr grossen Oeffnungen ganz. — So erzeugt das durch die Fenster einfallende Licht keine Bilder, sondern nur den allgemeinen Eindruck von Helligkeit.

544. Der innere Raum des Augapfels ist mit Flüssigkeiten ausgefüllt, die fast eben so durchsichtig sind, als die Luft. In diese durchsichtige Masse werden die Lichtstrahlen nur durch eine kleine, kreisrunde Oeffnung, das Lichtloch oder die Pupille zugelassen; auf einer weissen Fläche im Hintergrunde des Auges, der Netzhaut (retina) müssen daher verkehrte Bilder der äusseren Umgebungen entstehen, ganz so wie unter ähnlichen Bedingungen in jedem andern verdunkelten Raume. —

An einem noch frischen Ochsenauge lassen sich diese Bilder wirklich beobachten, wenn man den hinteren Theil der weissen, harten Haut, welche den Augapfel umschliesst, bis auf die halbdurchsichtige Netzhaut ablöst, und diese dann von der hintern Seite betrachtet. Die Bilder erscheinen jedoch dem gesunden Auge nicht verwaschen sondern mit scharfen Umrissen, aus einem Grunde, der erst später erläutert werden kann, der übrigens auf die Lage und das Grössenverhältniss der Bilder keinen Einfluss hat.

Die Netzhaut ist die hautartige Erweiterung eines Nervenstrangs, des Sehnerven, der vom Gehirn ausgehend in die Augenhöhle eindringt, die harte Haut des Augapfels durchsetzt und dann im Innern sich als Netzhaut ausbreitet. Durch Vermittlung dieser für jeden Eindruck von Aussen überaus empfindlichen Nervenverzweigung kommt die Empfindung des Lichts zu unserem Bewusstsein.

Der Gesammteindruck der äusseren Gegenstände auf die Netzhaut ist zwar für einen vom Auge getrennten Beobachter, der eines verkleinerten, verkehrt stehenden Bildes. Aber unser Urtheil durch die Erfahrung gebildet, versetzt jeden Eindruck, den wir im eignen Auge empfangen, von dem Puncte aus, an welchem er gefühlt wird, durch den Durchkreuzungspunct der Strahlen nach Aussen und zu der Stelle, von wo er abstammt. Es überträgt die Wirkung auf deren Ursache; deren Dasein dadurch gleichsam selbst zum Bewusstsein kommt. Daher empfinden wir nichts von den Bildern auf unserer Netzhaut, sondern wir sehen die Gegenstände ausserhalb des Auges und in der Tiefe des Raumes, wir sehen sie nicht verkehrt, sondern jeden Punct in der Richtung des von ihm zum Auge gesendeten Strahlenkegels (genauer in der Richtung des Hauptstrahls, welcher, wie wir später sehen werden, der einzige ist, der innerhalb des Auges unverändert in der geraden Linie fortschreitet).

Jeder Druck der die Netzhaut erreicht, wird als Licht empfunden. Drückt man z. B. mit dem Finger in der Nähe der Nasenwurzel gegen die Augenhöhle, so hat man alsbald eine Lichterscheinung. Die Gewohnheit, die Ursache eines Lichteindrucks vor dem Auge zu suchen, ist aber so mächtig, dass man auch in diesem Falle das Licht nicht an der Stelle, wo der Finger die Netzhaut drückt, sondern gerade auf der entgegengesetzen Seite wahrzunehmen glaubt.

545. Alle äusseren Gegenstände sind auf der Netzhaut als Flächen dargestellt; alle, die näheren wie die entfernteren liegen in ihren Bildern auf der Netzhaut nebeneinander und bedecken einen Theil derselben. Das Grössenverhältniss dieser Bilder bezeichnet die scheinbare Grösse der Gegenstände oder vielmehr die ihrer auf eine Kugeloberfläche, deren Mittelpunct im Auge liegt, projicirten Oberflächen.

Gesichtswinkel nennt man den Winkel, welchen zwei Umgränzungspuncte eines Körpers mit dem Kreuzungspuncte der Hauptstrahlen als Scheitelpunct bilden. Zwei Körper, die sich in ungleichem Abstande vom Auge befinden, haben gleiche scheinbare Grösse, wenn ihre Gesichtswinkel gleich sind.

Man denke sich vor dem Auge eine Kugelfläche, von dem

Kreuzungspunct als Mittelpunct, mit beliebigem Halbmesser gezogen, und richte dann von diesem Mittelpuncte aus gerade Linien nach den wirklichen Umgränzungen eines entfernten Gegenstandes, eines zweiten, eines dritten u. s. w. Die durch diese Linien auf der Kugeloberfläche gebildeten Figuren entsprechen den Bildern der Netzhaut.

Der wirkliche Inhalt einer leuchtenden Fläche heisse A, ihr Abstand von der Pupille D, so ist ihre scheinbare Grösse $\frac{A}{D^2}$. Man findet die wirkliche Flächengrösse eines Gegenstandes, indem man die scheinbare mit dem Quadrate des Abstandes multiplicirt.

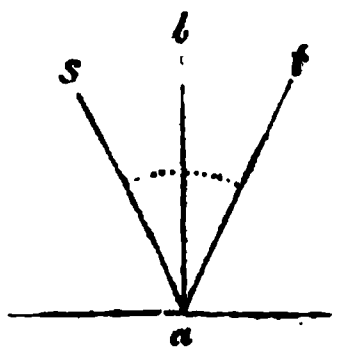
Der Eindruck, welchen diejenigen Gegenstände auf uns machen, deren Abstand zu beurtheilen uns der Massstab oder die Uebung fehlt, wie Sonne, Mond, entfernte Gebäude, ist stets der ihrer scheinbaren Grösse. Bei ganz nahe liegenden Körpern dagegen macht uns Gewohnheit und Urtheil mehr und mehr unabhängig von dem Grössenverhältnisse ihrer Bilder und wir erblicken sie in ihren natürlichen Dimensionen.

546. Von dem Lichte, welches die Oberfläche der Körper trifft, wird stets ein mehr oder weniger grosser Theil zurückgeworfen. Ein anderer Theil dringt in die Masse der Körper ein und verschwindet dann in den einen spurlos (undurchsichtige Körper), während er von andern in grösserem oder geringerem Verhältnisse durchgelassen wird (durchsichtige Körper).

547. Zurückwerfung des Lichtes. (Katoptrik). — Die Zurückwerfung (Reflexion) geschieht nach Gesetzen, die mit denen der Zurückwerfung elastischer Körper aufs genaueste übereinstimmen. Man erkennt diess am deutlichsten, wenn man im dunklen Zimmer einen Körper mit ebner, sehr glatter (spiegelnder) Oberfläche, den durch eine enge Oeffnung einfallenden Strahlen der Sonne oder einer argantischen Lampe entgegenstellt.

Die Spiegelfläche sei bis auf eine einzige kleine Stelle mit schwarzem Papier belegt. Man denke sich auf diesem spiegelnden Fleck ein Loth ab (Fig. 250) und durch dasselbe in beliebiger Richtung eine Ebne gelegt. Befindet sich nun der Lichtpunct s in dieser Ebne, so ist auch der von a zurückgeworfene Strahlenbündel in derselben enthalten, und zwar nimmt der zurückgeworfene Strahl at einen solchen Weg, dass Winkel $tab = sab$. Der zurückgeworfene Lichtstrahl liegt also in der Ebne, welche der einfallende mit der Normale bildet (in der Einfallsebne), und der Winkel den er mit der

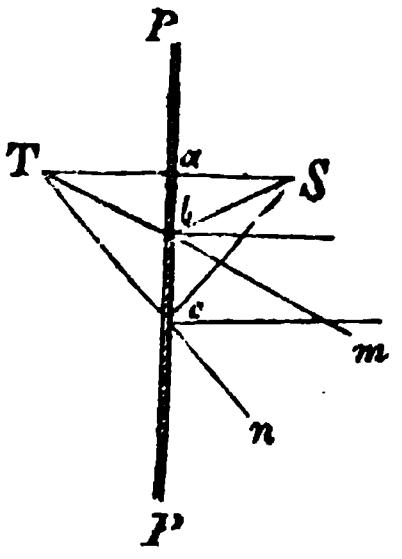
Fig. 250.



Normale einschliesst (der Ausfallswinkel) ist dem Einfallswinkel gleich.

Nach diesem Gesetze lassen sich die Wege bestimmen, welche verschiedene, von einem leuchtenden Puncte ausgesendeten Strahlen, nach der Zurückwerfung von einer ebnen, gut polirten Fläche nehmen müssen. Es bezeichne *P P* (Fig. 251) die spiegelnde Ebne; *b* und *c* seien die Einfallspuncte zweier vom Puncte *S* ausgehenden Lichtstrahlen, so werden diese durch Reflexion die Richtungen *bm* und *cn* erhalten. Man verlängere diese Linien bis zu ihrem Durchschnittspunct *T* und ziehe *ST*. Nun sind die Dreiecke *Sbc* und *Tbc* gleich, weil sie die Linie *bc* gemeinschaftlich haben und sowohl die beiden bei *c* wie die bei *b* anliegenden Winkel gleich sind. Es ist also *Sb* = *Tb*. Daraus folgt weiter, dass auch die Dreiecke *Sab* und *Tab* einander gleich sind. Es ist daher *Sa* = *Ta* und die Linie *ST* steht winkelrecht auf der Spiegelfläche. Dieselbe Betrachtung gilt für alle andern Strahlen, die von *S* aus den Spiegel treffen. Alle diese Strahlen bekommen daher durch die Reflexion eine solche Richtung, als kämen sie von einem Puncte *T* her, eben so weit hinter der Spiegelebne liegend, als *S* sich vor derselben befindet, So erklärt es sich, dass scheinbar hinter dem Spiegel ein leuchtender Punct *T*, nämlich das Bild des Punctes *S* sichtbar wird.

Fig. 251.



Angenommen die Breite des Spiegels beschränke sich auf die Linie *bc* (Fig. 251), so lehrt das vorgetragene Reflexionsgesetz, dass das Spiegelbild des Punctes *S* nur von demjenigen Auge wahrgenommen werden kann, welches sich in der Winkelöffnung *mTn* befindet. Da jede Aenderung in der Lage der Spiegelebne eine geänderte Stellung des Lothes *ST* nach sich zieht, so begreift es sich, dass durch die geringste Verrückung des Spiegels auch das Bild verrückt werden muss.

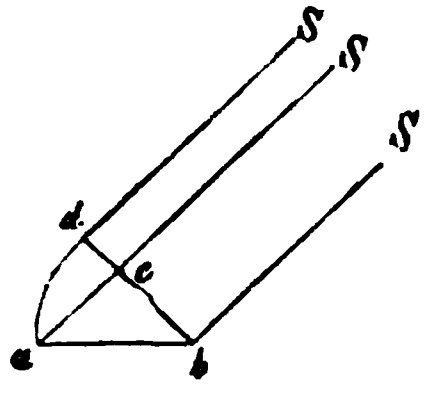
Körper mit rauher Oberfläche sind aus zahllosen sehr kleinen Flächenstückchen zusammengesetzt, welche in mannichfaltiger Weise gegen die Hauptrichtung geneigt sind und daher dem Bilde eines jeden leuchtenden Punctes eben so mannichfaltige Stellungen anweisen müssen. Die ursprünglich von einem einzigen Puncte ausfliessenden Strahlen werden dadurch so zerstreut, wie wenn sie von unzähligen Puncten abstammten. Der Eindruck der Lichtquelle verwischt sich und jeder reflectirende Punct erscheint als selbstständiger Lichtpunct. Die Sichtbarkeit dunkler Körper beruht hiernach nur auf den Unebenheiten ihrer Oberflächen, vermöge der sie die einfallenden Lichtstrahlen zerstreuen. Eine vollkommen spiegelnde Fläche würde, weil sie alle einfallende Strahlen in unveränderter Ordnung wieder zurückwirft, also Bilder der vor ihr befindlichen Gegenstände erscheinen lässt, selbst nicht sichtbar sein können. Unsere besten Spiegel sind indessen nicht frei von Unebenheiten und zerstreuen daher einen Theil des Lichtes von dem sie getroffen werden. — Körper mit vorherrschend ebner Oberfläche, wie glattes Papier, matt geschliffenes Glas, spiegeln im schief einfallenden Lichte, weil bei dieser Neigung der einfallenden Strahlen vorzugsweise nur

die im Sinne der Hauptrichtung reflectirten zum Auge gelangen können.

548. Dunkle Flächen empfangen von einer gegebenen Lichtquelle eine um so grössere Lichtmenge, je mehr sie den einfallenden Strahlen senkrecht entgegengestellt werden. Im Allgemeinen verhält sich die Stärke der Beleuchtung wie der Sinus des Winkels, den die Lichtstrahlen mit der von ihnen beleuchteten Fläche bilden.

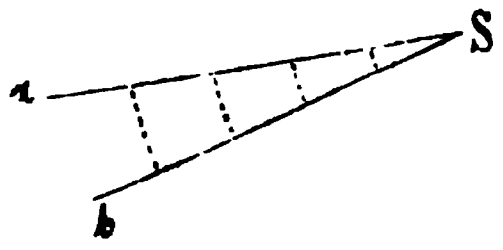
Die Linien bS, cS, dS (Fig. 252) mögen die Richtung der Sonnenstrahlen bezeichnen. Eine Fläche $ab = db$ nimmt offenbar einen möglichst grossen Bündel davon auf, wenn sie von denselben, wie in der Lage db senkrecht getroffen wird. In einer beliebigen anderen Lage ab steht die Menge des wirklich einfallenden Lichtes zu derjenigen Menge, welche bei der günstigsten Lage einfallen könnte, im Verhältniss der Linien, cb zu bd. Dieses Verhältniss ist aber gerade das, welches Sinus des Neigungswinkels cab genannt wird. — Anwendung auf die Kraft der Sonnenstrahlen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten, so wie unter verschiedenen Breiten.

Fig. 252.



549. Bei gleicher Neigung zweier Flächen gegen die Lichtstrahlen wird diejenige am stärksten beleuchtet, welche der Lichtquelle am nächsten steht; und zwar verändert sich die Lichtwirkung von einer Fläche zur andern, umgekehrt wie die Quadrate ihrer Abstände von dem Ausgangspuncte der Strahlen.

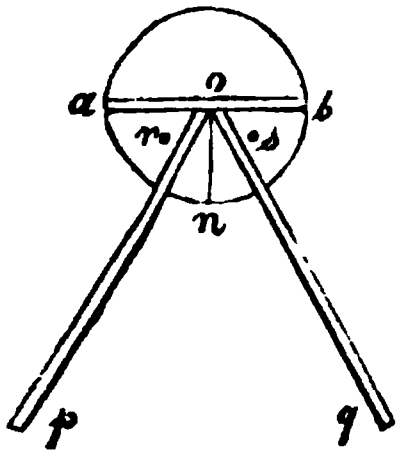
Fig. 253.



Die von einem leuchtenden Puncte S (Fig. 253) ausgesendeten Strahlen bilden einen Kegel, dessen Basis zwar in jedem Abstande eine gleiche Lichtmenge erhält; da aber der Flächeninhalt der Basis im Verhältniss zum Quadrat des Abstandes wächst, so muss die Lichtwirkung auf die Flächeneinheit in demselben Verhältnisse abnehmen.

Um die Richtigkeit dieses Gesetzes, durch ein Experiment anschaulich zu machen, kann man sich des Photometers (Lichtmessers) von Rumford bedienen.

Fig. 254



Ein kreisrundes Tischchen, am Rande mit einer Theilung versehen, ruht auf Schraubenfüssen, um es horizontal stellen zu können. Auf demselben steht senkrecht ein mit weissem Papier bekleidetes Brett ab (Fig. 254), das um eine über den Mittelpunct o des Tischchens senkrecht sich erhebende Axe drehbar ist, und so auf einen beliebigen Grad der Theilung eingestellt werden kann. Von derselben Axe, gleichsam als verlängerte Radien, laufen in horizontaler Richtung die beweglichen Arme op und oq aus. Sie sind mit einer beliebigen Längentheilung versehen, und jeder trägt einen sehr leicht verschiebbaren Schlitten,

dessen obere wagerechte Fläche noch überdies eine Verschiebung in senkrechter Richtung gestattet und hinlänglichen Raum bietet, um eine Lampe oder andere Lichtquelle darauf aufstellen zu können. Die Arme *po* und *qo* werden so eingestellt, dass sie mit der Normale *on* gleiche Winkel bilden. Dann bringt man auf jeden Schlitten eine argantische Lampe und richtet deren Flammen auf gleiche horizontale Höhe und in gleichen Abstand vom Puncte *o*. Beide Flammen sammt ihren Glasschornsteinen sind mit hohen Blechcylindern umgeben, welche das Licht nur durch eine einzige kleine, viereckige Oeffnung unmittelbar vor der Flamme durchlassen. Man erhält dadurch gleichsam zwei viereckige Lichtflächen (von etwas geringerem Umfang als die Flamme), die ihre Strahlen aus gleicher Entfernung und in gleicher Neigung gegen die weisse Papierfläche werfen. Bei *r* und *s* nahe vor dem Brettchen, stehen auf dem Tischchen zwei Säulen aus schwarzgefärbtem Holze, die bis zur Höhe der Lichtflächen aufsteigen und folglich auf dem Papier zwei beschattete Streifen dicht nebeneinander bilden müssen. Der von der einen Lampe abhängige Schatten wird von der Flamme der andern Lampe beleuchtet; beide Schatten können daher, wenn man sie von einem in der Verlängerung der senkrechten Linie *on* gewählten Standorte aus betrachtet, nur dann gleich dunkel erscheinen, wenn beide Flammen gleiche Lichtmengen aussenden. Da nun beide dunkle Streifen leicht so gerichtet werden können, dass sie unmittelbar an einander gränzen, so lässt sich der Punct gleicher Dunkelheit, oder beziehungsweise gleicher Leuchtkraft der Flammen, durch geeignetes Verrücken der Lampendochte bald und mit Sicherheit erfassen.

Schiebt man hierauf die eine Lampe auf die Hälfte ihres anfänglichen Abstandes vom Puncte *o*, so wird man finden, dass $^3/_4$ der viereckigen Lichtfläche geschlossen werden müssen, um beide Schatten wieder gleich zu machen. Also $^1/_4$ der Lichtfläche in dem Abstande $^1/_2$ macht eben so hell als die vierfache Lichtfläche aus doppelter Entfernung.

Angenommen Winkel *poq* sei 60°, man drehe das Brett *ab* so, dass *oq* senkrecht darauf steht, der Neigungswinkel des andern Armes *op* gegen die Papierfläche wird dann nur 30° betragen. Gesetzt diese letztere war vorher von beiden Lampen aus gleichem Abstande gleich stark beleuchtet worden, so wird man die Lichtfläche der auf dem Arme *oq* befindlichen nunmehr zur Hälfte bedecken müssen, um beide Schatten wieder gleich zu machen. Es ist aber bekanntlich *sin* $30° = ^1/_2$.

Mit Hülfe des Photometers kann man die Stärke verschiedener Lichtquellen vergleichen. Gesetzt, auf dem einen Arme werde eine argantische Lampe, die während einiger Stunden sehr gleichmässig hell macht, in festem Abstande aufgestellt; auf den andern Arm bringt man nach einander verschiedene Lichtquellen in solche Abstände, dass die auf die Papierfläche geworfenen Schatten jedesmal genau gleich werden, so müssen sich die Stärken dieser Lichtquellen verhalten, umgekehrt wie die Quadrate der Abstände, von welchen aus sie die weisse Fläche *ab* gleich stark beleuchteten.

So sind z. B. die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Resultate erhalten worden.

	Verbrauch stündlich.	Abstand, für gleiche Helligkeit.	Anzahl für gleiche Helligkeit.	Relativer Verbrauch an Brennstoff für gleiche Leuchtkraft.
Argantische Lampe (Lampe mit doppeltem Luftzug) . . .	32 Grm.	100	1	1
Lampe mit flachem Dochte und Glasschornstein . . .	15,4 „	69	2,1	1,01
Locatelli'sche Lampe	3,4 „	26	14,9	1,55
Talgkerze (Achter) .	7 „	33,6	9	1,97
„ (6 auf's Pfund, Sechster)	8,6 „	36,7	7,4	2
Stearinkerze (Achter)	7,7 „	30	11,1	2,67
„ „ (Sechster)	11,7 „	37	7,3	2,67

Mittelst des Rumford'schen Photometers lassen sich mit einiger Genauigkeit nur solche Lichtquellen vergleichen, deren Farbe gleich oder doch nur sehr wenig verschieden ist, denn das Auge, so empfindlich es ist für die geringsten Unterschiede im Grade des Helligkeit neben einander liegender, mässig beleuchteter, gleichfarbiger Flächen, verliert doch sogleich einen grossen Theil dieser Fähigkeit, sobald zwei nebeneinander liegende Licht- oder Schattenstreifen ungleiche Farbe haben.

Dieselbe Unvollkommenheit theilt die auf gleichem Principe beruhende Einrichtung, welche Potter und nachher Ritchie getroffen haben und die darin besteht, zwei neben einander in derselben Ebne liegende Streifen von weissem Papier oder von mattem Glase von der hinteren Seite, jeden aber durch eine andere Lichtquelle zu beleuchten und letztern so lange zu verschieben, bis beide Streifen, von der vorderen Seite betrachtet gleich hell erscheinen.

Man hat zur Messung der Lichtstärke (Photometrie) noch verschiedene andere Hülfsmittel benutzt oder zur Benutzung vorgeschlagen. Dahin gehören: Wollaston's Photometer zur Vergleichung des Lichts der Sonne und der Sterne (Pogg. Ann. 16. 328); Lampadius Photometer (Schweigger's Journal XI. 361, auch Gehl. Wört. VII. 484); De Maistre's Quetelet's und Arago's Photometer (Pogg. Ann. 29. 186); Humboldt's Astrometer (Pogg. Ann. XXIX. 484); Talbot's Photometer, welchem das Prinzip zu Grunde liegt, dass der durch rasche Umdrehung einer kleinen Lichtfläche im Auge gebildete leuchtende Ring, vergiichen mit dem Bilde der ruhenden Lichtquelle, eine in demselben Verhältnisse geringere Lichtstärke besitzt, als sein Umfang an Grösse die Breite der Lichtfläche übertrifft (Pogg Ann. 35. 457).

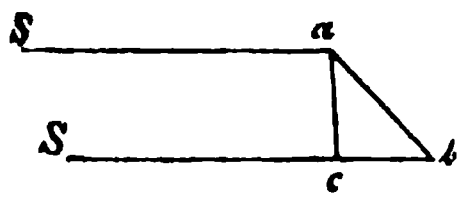
Nach Wollaston ist die Lichtstärke der Sonnenstrahlen gleich derjenigen von 5560 Wachskerzen, welche sich in nur 1 Fuss Abstand von der beleuchteten Fläche befinden. Die Lichtstärke des Vollmondes dagegen beträgt nur $^1/_{144}$ von derjenigen einer Kerze bei 1 Fuss Entfernung. Ferner soll die beleuchtende Kraft des Sirius 20,000 Millionen mal schwächer sein als die der Sonne.

550. Die Lichtstärke, welche die einzelnen Puncte einer Lichtquelle entfalten, nennt man ihren Glanz. Sind alle Puncte an der Oberfläche einer Lichtquelle gleich glänzend, so verhält

sich ihre Leuchtkraft wie die Grösse ihrer Oberfläche multiplicirt mit dem Glanze. Die leuchtende Kraft ist ausserdem noch, wie die Erfahrung lehrt, von der Neigung der Lichtfläche gegen die ausfallenden Strahlen abhängig.

Es sei z. B. $a\,b$ (Fig. 255) die Richtung der Lichtfläche, $a\,S$ und $b\,S$ diejenige eines Strahlencylinders, so wird die Lichtwirkung in dieser Richtung gerade so gross sein, wie die einer Lichtfläche $a\,c$ von gleichem Glanze, welche auf der Richtung der Strahlen senkrecht steht. D. h. die Leuchtkraft der Lichtquelle verhält sich zu ihrer Flächengrösse wie $\frac{a\,c}{a\,b} = sin.\ a\,b\,c$. Dass dem so sei, erkennt man daraus, weil eine gleichmässig glühende Kugel aus der Entfernung betrachtet, ganz den Eindruck einer glühenden Scheibe von überall gleichem Glanze hervorbringt, und weil sich ebenso auch die Sonne verhält.

Fig. 255.



Die Helligkeit, welche durch eine beliebige Lichtquelle auf einer weissen, den Strahlen senkrecht entgegengestellten Fläche hervorgebracht wird, entspricht demnach dem Ausdrucke $\frac{J\,F\,sin\,\alpha}{D^2}$.

wo J den Glanz, F den Flächeninhalt, D den Abstand der Lichtquelle und α den Neigungswinkel gegen die ausfallenden Strahlen vorstellt.

551. Geschwindigkeit des Lichtes. — Das Licht, wie jeder andere Bewegungseffect, gebraucht Zeit zu seinem Fortschreiten. Diese Zeit, obschon für jede irdische Entfernung ausserordentlich gering, ist doch durch Beobachtungen im Himmelsraum mit grosser Schärfe gemessen worden; zum erstenmal vom dänischen Astronomen Römer im Jahre 1675.

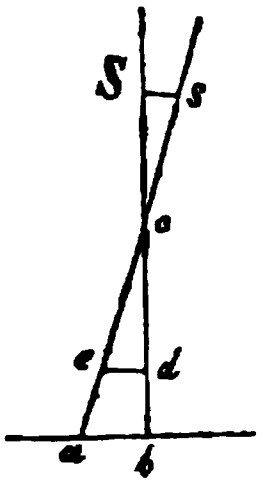
Der Planet Jupiter hat bekanntlich 4 Trabanten, von welchen der eine in dem kurzen Zeitraume von wenig mehr als 42 Stunden eine Umdrehung vollendet. Dabei muss er jedesmal durch den Schatten seines Planeten gehen. Weil er nun während dieser Zeit des Durchgangs verfinstert ist, lässt sich der Zeitpunct seines Eintritts in den Schatten, so wie der seines Austritts aus demselben ganz genau wahrnehmen.

Die Erde, während gewisser Perioden ihrer Umdrehung um die Sonne, erhält ihren Abstand vom Jupiter im Laufe von 42 Stunden fast unverändert, zu andern Zeiten dagegen entfernt sie sich oder nähert sich diesem Himmelskörper fast in gerader Linie. Nun hatte Römer bemerkt, dass die Verfinsterungszeit des Jupiters-Trabanten bei diesen drei verschiedenen Bewegungs-Richtungen der Erde scheinbar nicht gleich bliebe. Entfernte sich die Erde von dem Jupiter, so dauerte die Finsterniss

scheinbar länger, näherte sie sich ihm, so schien der Moment des Austritts früher einzutreten, als wenn beide Planeten während der Dauer einer Verfinsterung ihren Abstand nicht verändert hatten. Diese Unterschiede sind zwar sehr gering, aber sie wiederholen sich von einer Umdrehung des Jupiters-Trabanten zur andern und sammeln sich so während des Uebergangs der Erde aus der grössten Jupiters - Nähe zur grössten Jupitersferne, d. h. während des Zeitraumes von ungefähr einem halben Jahre zu einer vollen Viertelstunde, um welche die von dem letzteren Standpuncte der Erde beobachtete Eintrittszeit der Finsterniss gegen die für denselben Standpunct berechnete Zeit zurückbleibt. Römer schloss hieraus, dass das vom Jupiter zurückgeworfene Sonnenlicht so viel Zeit braucht, um eine Länge, gleich dem Durchmesser der Erdbahn, zu durchlaufen. Er berechnete hiernach die Geschwindigkeit des Lichtes zu 41918 geographischen Meilen.

Dieses Resultat erhielt 50 Jahre später eine sehr wichtige Bestätigung durch die von Bradley beobachtete Abirrung (Aberration) des Lichtes. Man versteht hierunter die Thatsache, dass die Fixsterne alljährlich kleine Ellipsen am Himmelsgewölbe zu beschreiben scheinen, deren grösste Axe bei allen gleich ist und eine Länge von 40,5 Sekunden einnimmt, deren kleinste Axe aber, je nach der Neigung der Sterne gegen die Ebne der Erdbahn, verschieden ist. Diese scheinbaren Bewegungen erklären sich dadurch, dass die Geschwindigkeit der Erde einen nicht ganz unbeträchtlichen Bruchtheil von der des Lichtes ausmacht. — Die Linie *a b* (Fig. 256) bezeichne einen Bogen der Erdbahn, *Sc* einen Lichtstrahl. Dieser sollte seiner Richtung nach den Punct *b* der Erde treffen. Da er aber Zeit bedarf um den Weg *c b* zurückzulegen, so wird er, wenn die Erde in derselben Zeit den Weg *a b* beschreibt, dieselbe nicht im Puncte *b* sondern in *a* erreichen. Es sei *a c* die Axe eines cylindrischen Rohrs (eines Fernrohrs) und der Lichtstrahl *Sc* sei eben im Axenpunct *c* am Eingang des Rohrs angekommen. Nach Verlauf der Hälfte der Zeit, die er braucht, um den Weg *c b* zurückzulegen, wird er sich in *d* befinden. Dieselbe Stelle hat aber unterdessen auch den Punct *e*, vermöge der Bewegung der Erde, erreicht. Der Strahl befindet sich also noch immer in der Axe des Rohrs. Da nun eben so der Fusspunct *a* des Rohrs gleichzeitig mit dem Strahle in *b* ankommt, so sieht man jetzt leicht, dass letzterer, während er den Weg *c b* zurücklegt, fortdauernd in der Axe des Rohrs verweilt, mithin für den Beobachter, dessen Auge sich am Puncte *a* befindet, sich ganz so verhält, als verfolge er den Weg *a c*, der mit der wahren Richtung des Lichtes den Winkel *a c b*, den Abirrungs - Winkel, bildet. Dieser scheinbare Weg des Lichtes leitet zu dem scheinbaren Orte (*s*) des Sterns von welchem es herkommt. Da nun die Richtung der Bewegung der Erde während ihres Umlaufs um die Sonne sich fortdauernd ändert, so muss auch der Punct *s* seine Stelle wechseln und alljährlich einen Umlauf um den wahren Ort *S* des Sterns bewerkstelligen. Der Abirrungswinkel ist am grössten, wenn ein Lichtstrahl auf der Erdbahn senkrecht steht; sein Bogen beträgt dann 20,45 Sekunden, nämlich die Hälfte von der grossen Axe der scheinbaren elliptischen Bahn. Dieser Bogen *Ss* (Fig. 256) verhält sich nun zu dem Halbmesser *Sc* = 1 der Himmelskugel, wie die Geschwindigkeit *a b* der Erde, zur Geschwindig-

Fig. 256.



keit *bc* des Lichtes. Letztere wird also gefunden, indem man die Geschwindigkeit der Erde durch den Abirrungsbogen, in Theilen seines Halbmessers ausgedrückt, dividirt. Auf diesem Wege wurde die Zahl von 41518 Meilen erhalten, welche mit der aus den Finsternissen der Trabanten des Jupiters abgeleiteten Zahl sehr nahe übereinstimmt. Hierdurch ist bewiesen, nicht nur dass das Licht für seine Fortpflanzung Zeit braucht, sondern auch dass das Licht der Sonne und der Fixsterne gleiche Geschwindigkeit besitzen. — Den Weg von der Sonne zur Erde legt das Licht in 8′13″, vom Monde zur Erde in etwas mehr als einer Sekunde zurück. Vom nächsten Fixsterne zur Erde braucht es 10 Jahre.

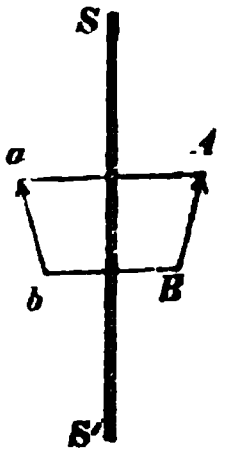
Mittelst einer sinnreichen Anordnung ist es vor Kurzem **Fizeau** gelungen, die Geschwindigkeit des irdischen Lichtes zu messen. Er fand sie von der des Sternenlichtes nicht abweichend. Pogg. (Ann. B. 79 S. 167).

551. **Spiegelbilder.** — **Die Bestimmung der Lage der Spiegelbilder, d. h. die Bezeichnung derjenigen Puncte, von welchen die von verschiedenen Puncten eines Gegenstandes ausgehenden Strahlen, nach der Zurückwerfung von einer spiegelnden Fläche herzukommen scheinen, ist durch die Kenntniss der Reflexionsgesetze (No. 547) eigentlich zu einer Aufgabe der Geometrie zurückgeführt.**

Die Lösung derselben wird sehr einfach bei den ebnen Spiegeln. Man zieht von jedem Puncte des Gegenstandes (*AB* Fig. 257) eine Senkrechte gegen die Spiegelebne oder deren Verlängerung und misst von derselben hinter dem Spiegel ein eben so grosses Stück ab, als der betreffende Punct sich vor dem Spiegel befindet.

Das Spiegelbild ist dem Gegenstande symmetrisch gleich. Befände sich in *ab* an der Stelle des Bildes ein wirklicher Gegenstand, so würden die von demselben aus durch eine Oeffnung *SS′* fallenden Strahlen hinsichtlich der Richtungen, welche sie nehmen, sich genau so verhalten, wie die vom Gegenstande *AB* ausfahrenden Strahlen nach der Reflexion von der Spiegelebne *SS′*. — Man sieht leicht, dass das Bild an allen Bewegungen des Spiegels Theil nehmen muss, dass es in einem senkrecht stehenden Spiegel die natürliche Lage des Gegenstandes wiedergibt, und dass es denselben bei wagerechter Lage des Spiegels in verkehrter Stellung erscheinen lässt. —

Fig. 257



Spiegelbilder im Wasser. — Bewegt sich der Spiegel mit sich selbst parallel, so legt das Bild in gleichem Sinne den doppelten Weg zurück. Dreht sich der Spiegel um eine Axe die in seiner eignen Ebne genommen ist, so beschreibt jeder Punct des Bildes von demselben Drehpuncte aus, den doppelten Bogen.

Vervielfachung der Bilder durch Parallel-Spiegel und Winkelspiegel (Kaleidoscop). Die Vervielfachung wird dadurch bewirkt, weil

die von einem Spiegel reflectirten Strahlen von einem zweiten, auf welchen sie fallen, abermals reflectirt werden. Die Spiegelbilder verhalten sich zu andern Spiegeln gleichsam wie wirkliche Gegenstände. Die wiederholten Bilder nehmen jedoch bald sehr merklich an Lichtstärke ab.

Die glänzendsten Bilder geben spiegelnde Metalle, insbesondere Silber und Quecksilber, weil sie das Licht am vollständigsten zurückwerfen. Gewöhnlicher wählt man zu Metallspiegeln eine Legirung von zwei Theilen Kupfer und ein Theil Zinn, welche eine grau weisse Farbe hat und eine sehr gute Politur annimmt. Auch schwarzes undurchsichtiges Glas gibt ein sehr reines, wiewohl wenig glänzendes Bild.

Unsere gewöhnlichen Glasspiegel sind eigentlich Quecksilberspiegel. Da aber die Metallbelegung sich an der hintern Glasfläche befindet und ein Theil des Lichtes schon von der Vorderfläche zurückgeworfen wird, so erhält man zwei Bilder, von welchen sich das eine, glänzendere, um die doppelte Dicke des Glases hinter dem andern befindet. Wegen dieses geringen Abstandes beider Bilder decken sie sich, so lange der Ausfallswinkel des Lichtes nur gering ist, und sind daher nur bei sehr geneigter Lage der reflectirten Strahlen wahrnehmbar. Sehr glänzende Leuchten, wie die Sonne und selbst die Kerzenflamme bilden in Glasspiegeln bei schief einfallendem Lichte eine ganze Reihe Bilder von allmählig abnehmender Intensität, von welchen immer das eine um die doppelte Glasdicke hinter dem andern liegt, Der Grund ist, weil der bei *a* (Fig. 258) von der Quecksilberfläche zum

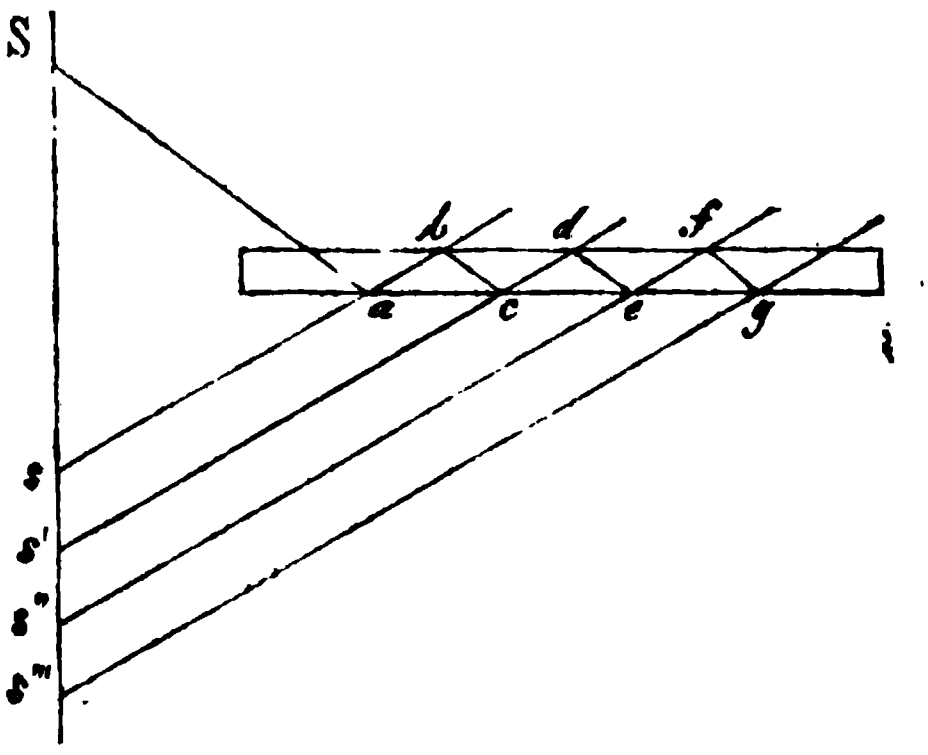


Fig. 258.

erstenmal reflectirte Strahl, bei seinem Austritte aus dem Glase bei *b* theilweise eine zweite Reflexion, dann bei *c* eine dritte, bei *d* eine vierte *u. s. w.* erleidet.

Wegen dieser Vervielfachung des Bildes sind die gewöhnlichen Glasspiegel zu mancheu optischen Zwecken nicht brauchbar.

Ebne Spiegel bilden den wesentlichen Bestandtheil mehrerer wichtiger physikalischer und geodätischer Instrumente. Dahin gehören der Heliostat, welchen man gebraucht, um den Sonnenstrahlen mit Hülfe eines durch ein Uhrwerk gedrehten Spiegels eine unveränderliche Richtung zu geben (Gehler's Wörterbuch n. B. V. 239. Pogg. Ann. XVII. 71; LXXII. 432); das Reflexionsgoniometer (Gehl. W. n. B. V. 1027); der Heliotrop (Gehl. W. n. B. V. 246); der Spiegelsextant (Gehl. W. n. B. VIII. 781).

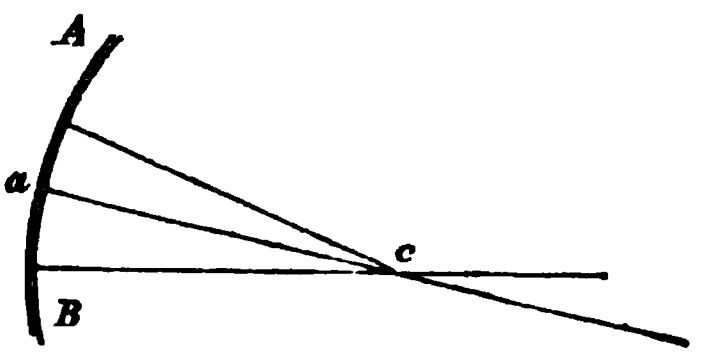
552. Jedes Flächenelement eines gekrümmten Spiegels reflectirt einen einfallenden Lichtstrahl ganz so, wie wenn die

Zurückwerfung von der das Element berührenden Ebne statt fände.

Die für ebne Spiegel geltenden Reflexionsgesetze lassen sich daher auch auf krumme Flächen anwenden, sobald nur das Gesetz ihrer Krümmung bekannt ist, d. h. sobald man für jeden Punct die Neigung seiner Berührungsebne zu bestimmen die Mittel hat. So ergibt sich aus der Eigenthümlichkeit der Kugelgestalt, dass alle vom Mittelpuncte einer Kugel ausgehenden Lichtstrahlen, durch Reflexion von der Kugelfläche in den Mittelpunct zurückkommen; ebenso aus der Natur der parabolischen Krümmung, dass alle mit der Axe eines Paraboloids gleichlaufende Strahlen im Brennpuncte zusammentreffen, und dass umgekehrt die vom Brennpuncte auslaufenden Strahlen durch die Reflexion eine mit der Axe parallele Richtung erhalten.

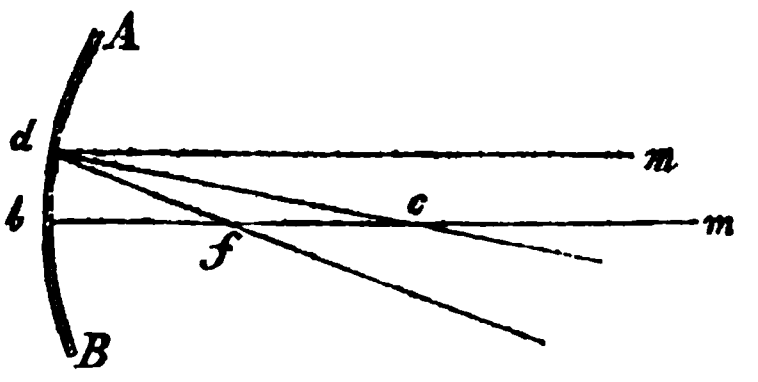
Eine grosse Mannigfaltigkeit des Verhaltens bieten die sphärischen Hohlspiegel. Wenn ein Kreisbogen AB (Fig. 259) dem der Kreismittelpunct c zugehört, um den Radius ac, der den Bogen AB halbirt, um 180 Grade gedreht wird, so bildet die so erzeugte Fläche, wie bekannt, einen Abschnitt einer Kugeloberfläche. Ist die hohle Seite einer so gestalteten Fläche spiegelnd, so hat man einen Hohlspiegel, ist es die erhabne (convexe) Seite, so hat man einen Convex-Spiegel. Der Punct a ist der Mittelpunct seiner Fläche, der Punct c sein Krümmungsmittelpunct, die Linie ac seine Hauptaxe. Jede andere durch c gelegte und den Spiegel treffende Linie heisst Nebenaxe. Wir betrachten zunächst den sphärischen Hohlspiegel, und zwar genügt es, das Verhalten nur eines einzigen durch die Mitte a gehenden Bogens, eines Durchmessers der Spiegelfläche, zu untersuchen, denn was für diesen gilt, lässt sich, wie aus der Construction hervorgeht, mit gleichem Rechte auf den ganzen Spiegel anwenden.

Fig. 259.



Es sei AB (Fig. 260) dieser sehr klein gewählte Bogen.

Fig. 260.



Vor demselben befinde sich ein leuchtender Punct m, in so weiter Ferne, dass die von demselben auf den Spiegel fallenden Strahlen

als parallel angesehen werden dürfen. Einer dieser Strahlen mcb, der durch den Krümmungsmittelpunct, also in der Richtung der Axe des Punctes m geht, wird in derselben Linie zurückgeworfen. Man nennt ihn den Hauptstrahl. Jeder andere Strahl wird durch die Reflexion so geleitet, dass er die Axe mb durchschneiden muss. Es sei z. B. d der Einfallspunct eines Strahls md, derselbe wird nach df reflectirt, so dass Winkel $mdc = cdf$, und durchschneidet die Axe im Puncte f. Nun ist Winkel $fcd = mad = fdc$, folglich $df = fc$. Es ist ferner $df + fc$ grösser als bc, folglich in allen Fällen fd grösser als bf. Es nähert sich aber fd dem Werthe von bf um so mehr, einen je kleineren Bruchtheil der Bogen bd von dem Radius bc ausmacht. Für ein sehr kleines Bogenstück kann man daher $bf = df = fc$ setzen. Bildet der ganze Spiegel, so wie angenommen wurde, nur ein sehr kleines Segment der dem Radius bc entsprechenden Kugeloberfläche, so ergibt sich, dass alle der Axe mb parallel laufende Strahlen, welche vom Spiegel reflectirt werden, im Puncte f der Axe zusammenfallen müssen*). Der Punct f wird Brennpunct der Axe mb genannt. In ähnlicher Weise hat jede andere Axe einen Brennpunct, der in der Mitte des entsprechenden Radius liegt. Der der Hauptaxe zugehörige Brennpunct, welcher die Eigenschaft hat, einen aus einem entlegenen Puncte der Hauptaxe selbst ausfliessenden Strahlenbündel zu sammeln, wird Hauptbrennpunct genannt. Sein Abstand von der Mitte des Spiegels heisst dessen Brennweite.

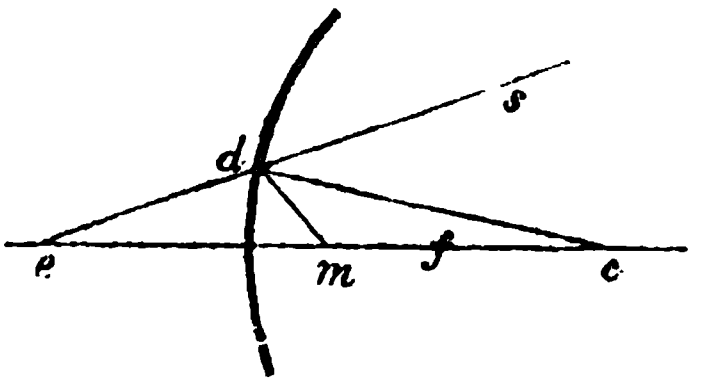
Wenn die Entfernung eines leuchtenden Punctes so gross nicht ist, dass seine Strahlen als parallel angesehen werden können, so vereinigen sie sich zwar nicht in dem Brennpuncte; aber nichts destoweniger müssen sie ihre Axe schneiden und zwar bei der früher vorausgesetzten Beschaffenheit des Spiegels ziemlich genau in einem Puncte, der von f aus sich dem Krümmungsmittelpuncte c um so mehr nähert, je mehr der leuchtende Punct m ge-

---

*) Die Gränzen innerhalb welcher diese Voraussetzung Geltung hat, ergeben sich schärfer aus folgender Betrachtung: Es ist $\frac{1}{2}\, dc = fc.\ cos\ dcf$. Daher $fc = \frac{dc}{2} \times \frac{1}{cos\, dcf}$. Nur diejenigen Strahlen für welche der Cosinus des Einfallswinkels fast mit der Einheit verwechselt werden darf, werden sich im Brennpuncte vereinigen. Bei zunehmender Grösse des Einfallswinkels eines Strahls, rückt sein Durchschnittspunct mit der Axe gegen die Spiegelfläche, und schneidet folglich die Richtung eines andern in derselben Ebne, aber der Axe näher liegenden reflectirten Strahls, bevor dieser den Brennpunct erreichen konnte. Diese Durchschnittspuncte benachbarter Strahlen bilden vor dem Spiegel eine eigenthümlich gekrümmte Fläche, die Brennfläche (kaustische Fläche) in welcher eine grössere Lichtstärke herrscht als in der Umgebung und von der der Brennpunct die glänzendste Stelle ausmacht. Jede durch den Brennpunct geführte Durchschnittslinie der Brennfläche heisst Brennlinie (kaustische Linie).

gen den Mittelpunct heranrückt. Alle von diesem Puncte selbst ausgehende Strahlen fliessen nach der Reflexion zu ihrer Quelle zurück. Befindet sich der leuchtende Punct an irgend einer Stelle zwischen *f* und *c*, so vereinigen sich die reflectirten Strahlen jenseits des Mittelpuncts, und zwar um so weiter von diesem entfernt, je näher der leuchtende Punct selbst dem Brennpuncte steht. Die von letzterem ausfallenden Strahlen werden parallel mit ihrer Axe reflectirt. — Man sieht leicht, dass diese Fälle die umgekehrten der vorhergehenden sind; der leuchtende Punct und sein Bild haben gleichsam nur ihre Stelle gewechselt. Befindet sich der leuchtende Punct *m* (Fig. 261) zwischen Brennpunct und Spiegelfläche, so bleiben die vom Spiegel reflectirten Strahlen divergirend, jedoch weniger als vor der Reflexion. Es hat daher den Anschein als kämen sie von einem Puncte *e* hinter dem Spiegel

Fig. 261.



her, der in der verlängerten Axe und von der Spiegelfläche um so weiter entfernt liegt, je mehr der leuchtende Punct gegen den Brennpunct rückt.

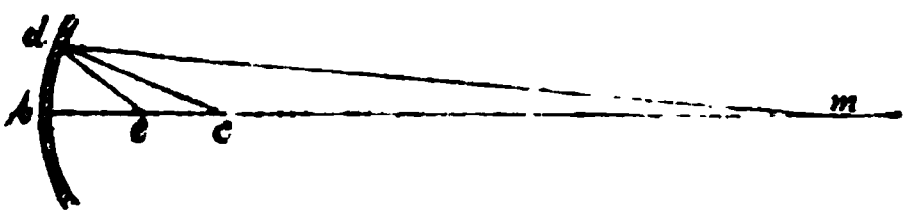
Alle diese Verhältnisse lassen sich in folgender allgemeiner Betrachtung zusammenfassen. Es ist Winkel

$$mdc = cde = i$$
$$md : mc = sin.c : sin.i$$
$$de : ce = sin.c : sin.i.$$

Daher auch

$$md : mc = de : ce;$$

Fig. 262.



Ist nun der Spiegel ein sehr kleines Segment der Kugelfläche, so kann $md = mb$ und $ed = be$ gesetzt werden. Man erhält demnach, wenn der Radius cb mit r, der Abstand mb des leuchtenden Punctes mit l, und der Abstand be des Vereinigungspunctes der Strahlen von der Spiegelfläche mit f bezeichnet wird:

$$l : l - r = f : r - f; \quad (1)$$

und hieraus:

$$lr = (2l - r)\, f;$$

oder indem durch $l\,r\,f$ dividirt wird:

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{r} - \frac{1}{l}\,; \text{ (II)}$$

In dieser einfachen Gleichung sind alle Veränderungen ausgedrückt, welche ein Lichtkegel von sehr kleiner Winkelöffnung durch die Reflexion von einem sphärischen Hohlspiegel, durch dessen Krümmungsmittelpunct sein Hauptstrahl (Axenstrahl) geht, erfahren kann. Ist z. B. die Entfernung l des Ausgangspunctes der Strahlen sehr weit entlegen, also $\frac{1}{l}$ fast Null; so ergibt sich $f = \frac{r}{2}$. Für $l = r$ findet man auch $f = r$; für $l = \frac{r}{2}$ liegt f in unendlicher Ferne. Setzt man l kleiner als $\frac{r}{2}$ so wird für f ein negativer Werth erhalten, d. h. der Vereinigungspunct der Strahlen s (Fig. 261) liegt hinter dem Spiegel, ist also nicht reel sondern nur virtuel vorhanden. Im Allgemeinen findet man, wenn $l = n\,r$ gesetzt wird:

$$f = \frac{n\,r}{2n-1}\,.$$

Wenn man von den verschiedenen Puncten eines Gegenstandes gerade Linien durch den Krümmungsmittelpunct des Spiegels gegen die Spiegelfläche zieht, so stellt jede dieser Linien eine Axe vor. An entsprechenden Puncten jeder Axe vereinigen sich die von dem in eben dieser Axe gelegenen leuchtenden Puncte ausgesendeten Strahlen. Indem sie dann wieder auseinandergehen, bewirken sie in dem Auge des Beobachters ganz den Eindruck eines in der Luft schwebenden Bildes des Gegenstandes. Befindet sich letzterer jenseits des Krümmungsmittelpunctes, z. B. in der Stellung $m\,n$ (Fig. 263) so erzeugt er ein Luftbild $s\,t$ zwischen Mittelpunct und Brennpunct, das man auf einem weissen Schirm oder auf matt geschliffenem Glase auffangen kann. Es erscheint verkehrt und, weil es in der Winkelöffnung $s\,c\,t$ liegen muss, verkleinert.

Wird ein Gegenstand zwischen Mittelpunct und Brennpunct

Fig. 263.

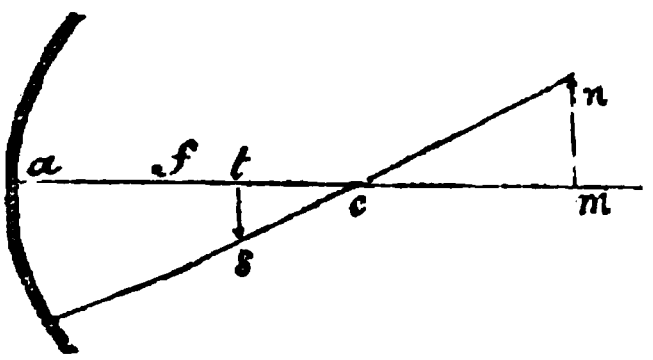
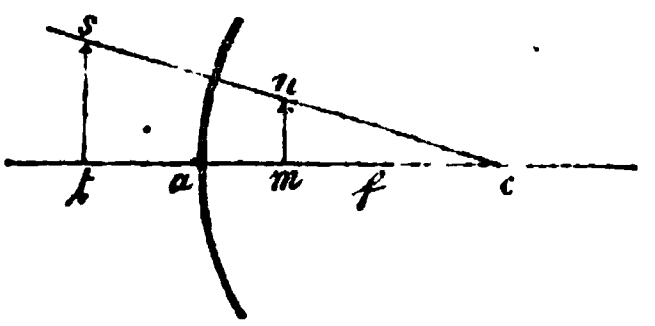


Fig. 264.



aufgestellt, so zeigt sich sein Bild jenseits des Mittelpunctes, verkehrt und vergrössert.

Gegenstände, welche wie $m\,n$ (Fig. 264) zwischen Brenn-

punct und Spiegel gebracht werden, geben ebenfalls vergrösserte Bilder, die aber, wie bei ebnen Spiegeln, hinter dem Spiegel zu liegen scheinen und aufrecht stehen.

Um das Grössenverhältniss des Bildes zum Gegenstande zu bestimmen, hat man nur zu bemerken, dass ihre linearen Dimensionen sich verhalten wie ct zu cm (Fig. 263 u. 264). Nun ist $ct = r - f$; $cm = l - r$ und nach Gleichung (I); $r - f : l - r = f : l$. Die lineare Dimension des Bildes verhält sich also zu der des Gegenstandes, ungefähr wie die Entfernung des Bildes vom Spiegel zur Entfernung des Gegenstandes vom Spiegel.

Um das Reflexionsgesetz für convexe sphärische Spiegel zu finden, hat man nur in Gleichung (II) r negativ zu setzen.

Man erhält dann:

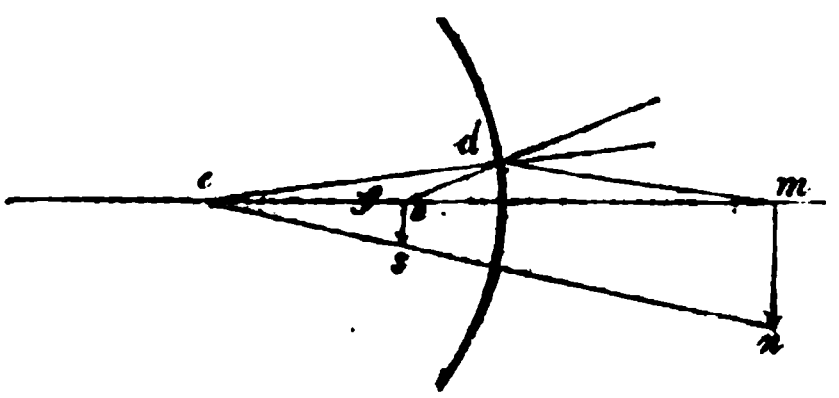
$$\frac{1}{f} = -\left(\frac{2}{r} + \frac{1}{l}\right)$$

oder

$$f = -\frac{lr}{2l + r}.$$

Man erkennt leicht, dass die von einem beliebigen Puncte m (Fig. 265) ausgehenden Strahlen so reflectirt werden, als kämen sie von einem Puncte e hinter dem Spiegel her, der in derselben Axe zwischen Brennpunct und

Fig. 265.



Spiegelfläche liegt. Das Bild eines Gegenstandes mn vor dem Spiegel erscheint also in allen Fällen hinter dem Spiegel, es ist verkleinert und aufrecht stehend.

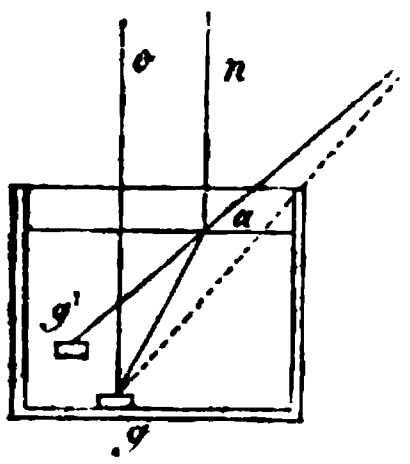
Auf der Anwendung des Grundgesetzes der Reflexion auf cylindrische und conische Spiegel, beruhen die katoptrischen Zerrbilder oder Anamorphosen.

553. **Lichtbrechung** in nicht krystallisirten Körpern. (Dioptrik). Viele Körper besitzen die Eigenschaft, einen Theil des eindringenden Lichtes durchzulassen; sie sind durchsichtig. Beim Uebergange aus einem Mittel in das andere wird das Licht gewöhnlich von der früheren Richtung abgelenkt. Nur in einem einzigen Falle behält es dieselbe bei; dann nämlich, wenn der einfallende Strahl auf der Gränzfläche beider Mittel senkrecht steht.

Durch eine Wasserschicht oder durch eine dicke Glasplatte betrachtet, zeigt sich ein Gegenstand g (Fig. 266) nur dann an seiner wirklichen Stelle, wenn sich das Auge in der die Gränzfläche gegen Luft senkrecht durchschneidenden Linie go befindet.

In jeder andern Lage des Auges erscheinen die Gegenstände verschoben, und zwar um so mehr, je grösser der Winkel ist, welchen der auf der Gränzfläche ankommende Strahl mit dem Lothe bildet. Ein Geldstück *g* auf dem Boden einer Schaale liegend, welches von dem in *o'* befindlichen Auge, so lange das Gefäss kein Wasser enthält, nicht erblickt wird, wird sogleich sichtbar, wenn man Wasser eingiesst. Es erscheint aber jetzt nicht mehr in *g*, wo es sich wirklich befindet, sondern nach *g'* verrückt, nämlich in der verlängerten Linie des ausfallenden und von seiner anfänglichen Richtung abgelenkten Lichtstrahls *a o'*.

Fig. 266.



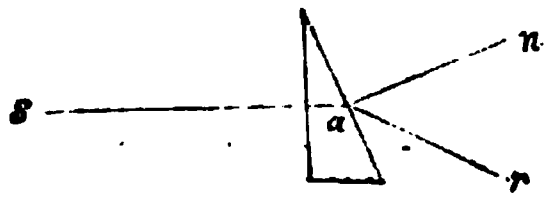
Auf ganz gleiche Weise verhält sich eine kleine Papierscheibe, die man auf der untern Fläche einer dicken Glasplatte aufgeleimt hat.

Der von *a* nach *o* abgelenkte Strahl heisst der gebrochene Strahl, und die Ebne, welche er mit dem Einfallslothe bildet, die Brechungsebne, der Winkel, welchen der gebrochne Strahl mit dem Lothe *an* einschliesst, ist der Brechungswinkel.

Die Richtung des gebrochnen Strahls ist von der Art, dass er sich, bezogen auf den einfallenden Strahl, auf entgegengesetzter Seite des Einfallslothes befindet und dass seine Brechungsebne mit der Einfallsebne zusammenfällt.

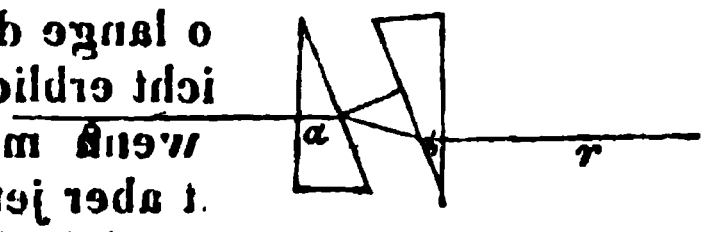
Man lasse durch eine enge Oeffnung einen Bündel paralleler und horizontal gerichteter Lichtstrahlen in ein verdunkeltes Zimmer fallen, und stelle denselben ein dreiseitiges Glasprisma so entgegen, dass sie auf der Vorderfläche desselben senkrecht auffallen, daher ungebrochen eindringen und erst an der Hinterfläche, beim Austritte in die Luft eine Ablenkung erfahren (siehe Fig. 267). Aus den beleuchteten Staubtheilchen in der Luft, erkennt man leicht den Weg, welchen das Licht nimmt und überzeugt sich sogleich, dass der gebrochene Strahl *ar* in der Einfallsebne bleibt, deren Richtung hier durch die Basis des Prisma's gegeben ist. Dreht man dieses um den einfallenden Strahl *sa* als Axe, so dreht sich auch der gebrochne Strahl, und beschreibt die Oberfläche eines Kegels, dessen Scheitelpunct durch den Einfallspunct *a* gegeben ist.

Fig. 267.



Wenn man dem bei *a* (Fig. 268) ausfallenden Lichtstrahl ein zweites Prisma von gleichem Winkel, aber in umgekehrter Stellung darbietet, so dass beide sich zu einem vierseitigen von parallelen Flächen begränzten Prisma ergänzen, so kehrt der Strahl, nachdem er eine neue Brechung erlitten, in die frühere Richtung zurück, d. h. der aus dem zweiten Prisma ausfallende Strahl *br* läuft mit dem in das erste Prisma einfallenden parallel. Hieraus geht hervor, dass die Brechung beim Austritt aus Glas in Luft gerade die umgekehrte ist, von der beim Eintritte von Luft in Glas. Der Einfallswinkel an der Gränzfläche von Glas in Luft sei *a*, der Brechungswinkel *b*, so wird das auf der Gränzfläche von Luft in Glas mit dem Winkel *b* einfallende Licht, einen Brechungswinkel *a* erhalten.

Fig. 268.



Dieselbe Erscheinung bietet sich unter gleichen Umständen zwischen beliebigen andern durchsichtigen Körpern. Daher die allgemeine Regel: durch ein von parallelen Flächen begränztes durchsichtiges Mittel geht das Licht ungebrochen. So z. B. durch die Fensterscheiben, durch Uhrgläser, durch hohle, leere Glascylinder.

Wenn ein Lichtstrahl aus einem dünneren in ein dichteres Mittel, wie aus Luft in Glas oder Wasser übergeht, so nähert sich der gebrochne Strahl dem Einfallslothe; er wird dem Lothe zu gebrochen. Bei der umgekehrten Bewegung, beim Uebergang aus Glas in Luft, entfernt er sich vom Lothe. Diese Regel ist nur dann unbedingt richtig, wenn das dichtere Mittel mit dem dünneren gleiche chemische Beschaffenheit hat, wie Luft von ungleicher Dichtigkeit; sie erleidet aber häufige Ausnahmen, wenn es sich um chemisch verschiedenartige Körper handelt. Man pflegt dasjenige Mittel, in welchem der eindringende Strahl dem Lothe zu gebrochen wird, das stärker brechende zu nennen. Im Allgemeinen sind also die dichteren Körper die stärker brechenden. Weingeist, Aether, Schwefelstoff, flüchtige Oele und andere hauptsächlich brennbare Körper bilden Ausnahmen von dieser Regel.

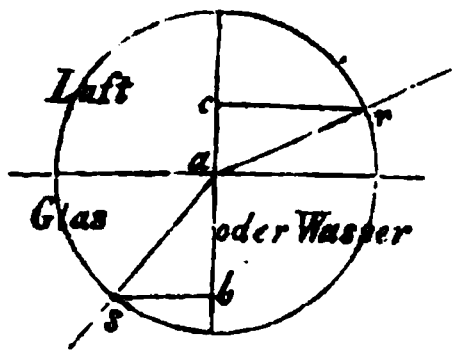
Bei zunehmender Grösse des Einfallswinkels wächst auch der Brechungswinkel. Beide stehen immer in einer solchen Beziehung zu einander, dass welche Neigung gegen die brechende Fläche der einfallende Strahl *sa* haben mag, das Verhältniss der

nien *sb* und *cr* (Fig. 269) einen unveränderlichen Werth behauptet. Es ist aber $sb = sa \sin. sab = r \sin. i$ und $rc = ra \sin. rab = r \sin. b$.

Daher

$$\frac{sb}{rc} = \frac{r \sin. a}{r \sin. b} = \frac{\sin. a}{\sin. b} = n$$

Fig. 269.

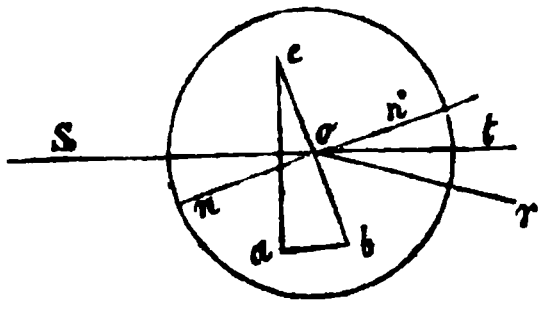


Der Sinus des Einfallswinkels dividirt durch den Sinus des Brechungswinkels ist eine unveränderliche Zahl, so lange das brechende Mittel keine Aenderung erfährt.

Dieses merkwürdige Gesetz ist von dem Niederländer Snellius entdeckt, aber erst viel später von Descartes bekannt gemacht worden.

Beispiel: Ein kleiner Tisch, auf welchem ein getheilter Kreis aufgetragen ist, werde im verdunkelten Zimmer, in den Meridian gestellt, so aufgestellt, dass die durch einen schmalen Spalt eindringenden, mittelst des Heliostats wagerecht geleiteten Sonnenstrahlen, durch den Mittelpunct c (Fig. 270) des wagerecht gestellten Theilkreises gehen. Man setze dann

Fig. 270.



auf das Tischchen ein dreiseitiges Prisma *abc*, aus Glas oder einem andern durchsichtigen Mittel gebildet, so dass das Licht auf der einen Seite senkrecht einfällt und dass die brechende Fläche *ac* durch den Mittelpunct des Kreises geht. Bei dieser Anordnung ist, wie man leicht sieht, der Einfallswinkel *son* gleich dem Prisma-Winkel *c*, und der Brechungswinkel *ron'* gleich dem Winkel *tot'*, grösser als *c*. Den Ablenkungsbogen *rot* findet man, wie früher, durch Ablesung des Gradepunctes, an welchem der abgelenkte Strahl den getheilten Kreis schneidet.

Das Prisma sei gewöhnliches Spiegelglas, $c = 20°$, so gibt der Versuch, $tor = 11° 37'$; daher der Brechungswinkel $b = 20° + 11° 37' = 31° 37'$. Eben so findet man für $c = 30°$; $tor = 20°$; folglich $b = 50°$.

Nun ist:

$$\frac{\sin. 31° 37'}{\sin. 20°} = \frac{0{,}52430}{0{,}34202} = 1{,}533$$

und

$$\frac{\sin. 50°}{\sin. 30°} = \frac{0{,}76650}{0{,}50000} = 1{,}533.$$

Der Sinus des Brechungswinkels dividirt durch den Sinus des Einfallswinkels liefert in beiden Fällen dieselbe Zahl. Eben dieses Resultat würde ein Glasprisma von anderer Neigung der Seitenflächen gegeben haben.

Die Zahl 1,533 oder genähert $\frac{3}{2}$, welche für Glas das Verhältniss der beiden Sinusse, d. i. das Brechungsverhältn

niss ausdrückt, nennt man den Brechungs-Exponenten des Glases. Jedes Mittel hat, bezogen auf Luft, seinen ihm eigenthümlichen Brechungs-Exponenten. So ist der des Wassers $^4/_3$.

Kennt man den Brechungsexponenten eines Mittels, so ist man im Stande die Richtung des gebrochenen Strahls durch Rechnung im Voraus zu bestimmen. Beim Uebergang aus Luft in Glas wird der Brechungswinkel (b) kleiner als der Einfallswinkel (a), und man ersieht nun aus der Gleichung $\frac{sin.\ a}{sin.\ b} = 1{,}533$; dass einem jeden Einfallswinkel bis zur Gränze $a = 90^0$, ein Brechungswinkel entspricht.

Das Licht erleidet bei jedem Uebergange aus einem Mittel in ein anderes eine theilweise Reflexion, die bei senkrechtem Einfalle am kleinsten ist und mit der Grösse des Einfallswinkels zunimmt. Aber so lange dieser Winkel auch nur im geringsten unter 90^0 bleibt, tritt stets ein beträchtlicher Theil des Lichtes aus Luft in ein dichteres Mittel, z. B. in Glas, ein.

Wenn das Licht die Gränzfläche eines dichteren Mittels zu Luft durchschreitet, entfernt sich der gebrochene Strahl vom Lothe. Jetzt ist also für Glas $\frac{sin\ a}{sin\ b} = \frac{1}{1{,}533}$. Beträgt der Einfallswinkel $40^0\,43'$, so findet man $b = 90^0$; d. h. der gebrochne Strahl läuft längs der Brechungsebne hin. Wird a grösser als $40^0\,43'$, so kann demnach das Licht die Glasfläche gar nicht mehr durchdringen. In der That lehrt die Erfahrung, dass alles Licht, dessen Einfallswinkel auf der Uebergangsfläche von Glas zu Luft mehr als $40^0\,43$ beträgt, vollständig (total), übrigens nach den gewöhnlichen Gesetzen reflectirt wird.

In einem rechtwinkligen, gleichschenkligen Prisma (Fig. 271) hält jeder der beiden Winkel a und b, 45^0. Setzt man ein solches Glasprisma

Fig. 271.

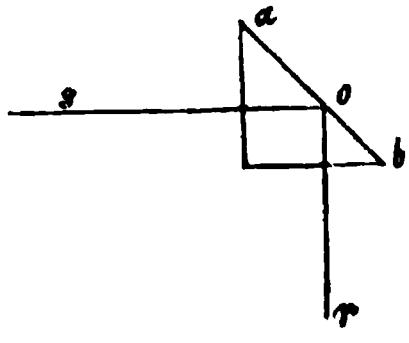
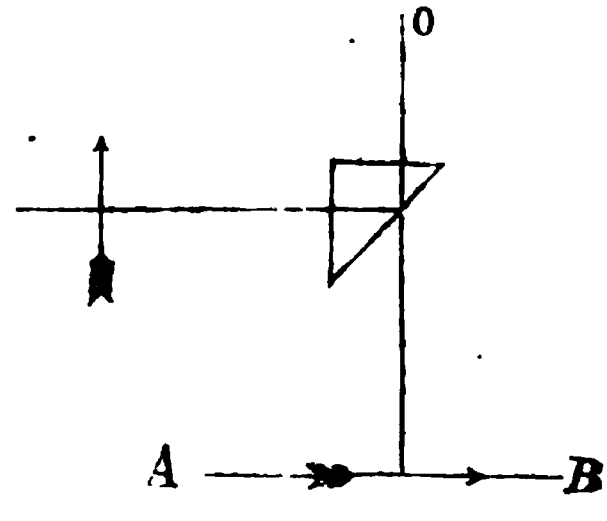


Fig. 272.



auf das Tischchen (Fig. 271), so dass die durch den Spalt im Laden eindringende Lichtlinie $s\,o$ die Hinterfläche $a\,b$ mit einem Winkel von 45^0 trifft,

so wird sie unter gleichem Winkel nach *or* abgelenkt, ohne dass nur eine Spur von Licht bei *o* ausfallen kann. Die Fläche *ab* des Prisma's erhält dadurch ganz das Ansehen eines Metallspiegels von grösster Vollkommenheit. — Gibt man einem kleinen Prisma der Art die in Fig. 272 angedeutete Stellung und hält das eine Auge darüber in dem Abstande der deutlichen Sehweite von einer weissen Papier-Fläche *AB* unter dem Prisma, so erblickt man auf dem Papiere die Bilder aller vorliegenden Gegenstände in so scharfen Umrissen, dass sie sich mittelst eines in der Hand gehaltenen und durch das andere Auge betrachteten Stiftes nachzeichnen lassen. Ein zu diesem Zwecke besonders gefasstes und an geeignetem Träger befestigtes Prisma heisst camera lucida.

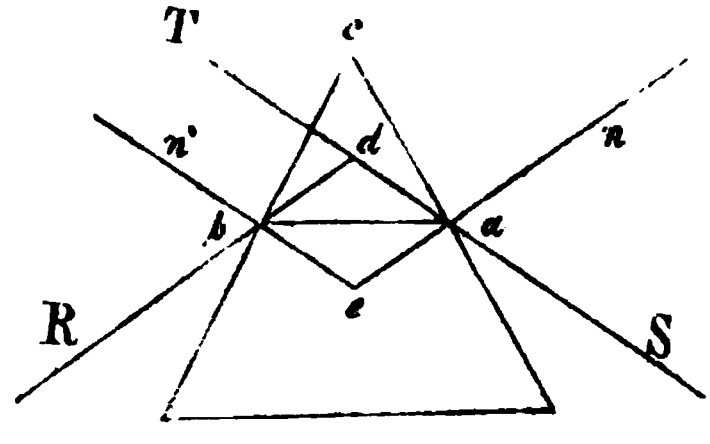
Bei Lichtstrahlen, die an der Gränze von Wasser zu Luft ankommen, tritt die totale Reflexion ein, sobald der Einfallswinkel mehr als 48° 28′, beträgt. Der Spiegel des Wassers in einem Glase erscheint daher, in schiefer Richtung von unten betrachtet, wie eine polirte Metallplatte, und eingetauchte Gegenstände spiegeln sich darin mit vollkommenster Schärfe ab. — Ein in das Wasser getauchtes, unten geschlossenes, übrigens leeres Glasrohr, gewinnt, wenn man es von oben anblickt, durch die totale Reflexion des Lichtes an der Innenwand des Glases ganz das Ansehen, als wäre es mit Quecksilber gefüllt. Diese Wirkung einer sehr vollkommenen Spiegelung verschwindet aber, so wie man Wasser in das Rohr giesst. — Sehen unter Wasser, dessen Oberfläche sich in Ruhe befindet. — Luftspiegelungen (fata morgana), bewirkt durch totale Reflexion beim Uebergang des Lichtes aus dichteren in dünnere, z. B. stärker erwärmte Luftschichten. Häufig beruhen diese Erscheinungen auch auf der Refraction der Lichtstrahlen in ungleich erwärmten Luftschichten, und können in diesem Falle nicht eigentlich Spiegelungen genannt werden (Gehler, neue Bearb. VIII. 1155).

Durch die Brechung, welche die Lichtstrahlen beim Eindringen in den Dunstkreis unserer Erde erfahren, erscheinen alle Himmelskörper, mit einziger Ausnahme derjenigen, die sich gerade im Zenith befinden, aus ihrer Stelle gerückt, um so mehr, je näher sie dem Horizonte stehen. In Folge der wiederholten Brechungen beim Uebergange aus dünneren in dichtere Luftschichten, müssen die aus dem Himmelsraume kommenden Strahlen in der Atmosphäre krumme Linien beschreiben, welche ihre Höhlung der Erdoberfläche zukehren; und da wir einen Stern stets in der Richtung sehen, in welcher der von ihm ausgehende Strahl das Auge trifft, so kommt es, dass seine scheinbare Lage immer etwas höher ist, als seine wirkliche. Da diese Wirkung bei zunehmender Grösse des Einfallswinkels nothwendig selbst zunehmen muss, so äussert sie auf die dem Horizont nahen Himmelskörper den stärksten Einfluss. Sie ist die Ursache, dass wir die Sonne schon einige Minuten vor ihrem eigentlichen astronomischen Aufgange erblicken, und dass sie uns noch eine kurze Zeit sichtbar bleibt, nachdem sie bereits unter den Horizont gesunken ist. — Dieser Einfluss der atmosphärischen Strahlenbrechung macht sich schon bei dem von hohen Bergen ausgehenden Lichte geltend, und darf bei geometrischen Höhenmessungen nicht unberücksichtigt bleiben.

554. Optische Prismen. — In der Sprache der Optik wird jedes durchsichtige Mittel, welches von zwei ebnen, beliebig gegen einander geneigten Flächen begränzt ist, ein Prisma genannt. Der Winkel, welchen die beiden Flächen einschliessen, heisst der brechende Winkel, und jeder durch die Winkelkante senkrecht geführter, also der Basis des Prisma's gleichlaufender Durchschnitt, ein Hauptschnitt.

Es sei aCb (Fig. 273) ein Hauptschnitt eines Prisma's, Sa ein in der Ebne desselben schief einfallender Lichtstrahl; er wird beim Durchgang durch das Prisma an beiden brechenden Flächen in gleichem Sinne und zwar von der Winkelspitze C abgelenkt. Es sei z. B. $SabR$ der Weg, den er verfolgen muss. Man nenne Winkel $San = a$; $bae = b$; $abe = b'$ und $Rbn' = a'$. Die Ablenkung bei der ersten Brechung ist $dab = a - b$; bei der

Fig. 273.



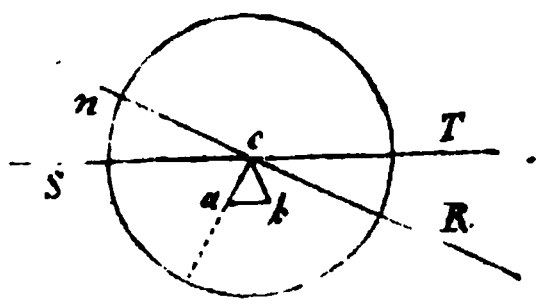
zweiten Brechung $dba = a' - b'$. Beide Ablenkungen zusammen geben den ganzen Ablenkungswinkel

$$TdR = D = a - b + a' - b' = (a + a') - (b + b').$$

Es ist ferner der Prisma - Winkel $bCa = eab + eba$ oder auch; $C = b + b'$; (1) folglich $D = a + a' - C$; (2).

Man stelle ein optisches Prisma auf den oben erwähnten kleinen Tisch, so dass die Winkelkante fast über den Mittelpunkt des Theilkreises zu stehen kommt (Fig. 274). Man wird finden, dass der einfallende Lichtstrahl Sc bei jeder Drehung des Prismas eine andere Ablenkung erfährt, dass aber für eine gewisse Stellung des letzteren der Ablenkungswinkel einen kleinsten Werth annimmt.

Fig. 274.



Angenommen, bei einem Prisma von Spiegelglas, dessen Winkel 34^0 beträgt, habe sich die kleinste Ablenkung bei dem Einfallswinkel $Scn = 27^0$ gezeigt. Der Ablenkungswinkel RcT wird dann 20^0 betragen. Diese Werthe in die vorher entwickelte Gleichung (2) gesetzt; wird erhalten $20 = 27 + a' - 34$; und hieraus $a' = 27$. D. h. es ist $a = a'$ und folglich auch $b = b'$. Dieses Resultat gilt nun, wie aus einer Vergleichung des Brechungs-Gesetzes mit dem der Sinusse, ganz allgemein bewiesen werden kann, in gleicher Weise für jeden andern brechenden Winkel und jeden andern durchsichtigen Stoff. D. h. so bald die Abweichung des gebrochnen Strahls ihren kleinsten Werth erreicht hat, ist der Winkel, welchen der einfallende Lichtstrahl mit der

Vorderfläche des Prismas bildet, demjenigen gleich, mit welchem er die Hinterfläche wieder verlässt.

Für den Fall der kleinsten Ablenkung ist demnach $C = 2b$ und $D = 2a - C$, woraus dann weiter hervorgeht:

$$b = \frac{C}{2}; \; a = \frac{D + C}{2}.$$

Hieraus fliesst eine sehr einfache Regel, den Brechungsexponenten eines beliebigen durchsichtigen Mittels zu bestimmen.

Man bildet aus demselben ein Prisma, misst dessen Winkel, dann denjenigen der kleinsten Ablenkung, und setzt:

$$n = \frac{\sin. \frac{D + C}{2}}{\sin. \frac{C}{2}}$$

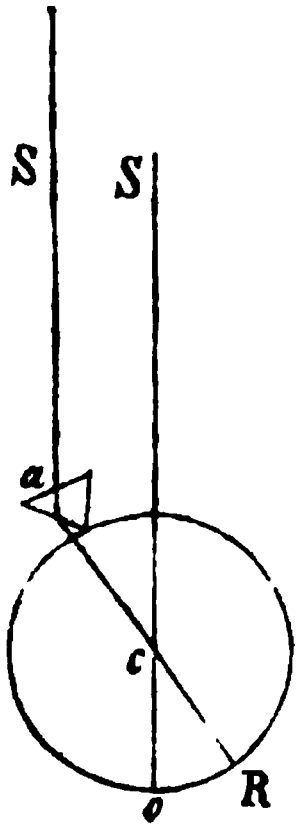


Fig. 275.

Um den kleinsten Ablenkungswinkel genau zu messen, kann man folgendes Verfahren einschlagen. Vor dem Objectivglase des Fernrohrs eines Theodoliths wird an dem Gehäuse des Fernrohrs selbst ein kleiner Träger befestigt, geeignet, das zu prüfende Prisma darauf aufstellen und mittelst einer Mikrometerschraube richten zu können. Man richtet nun das Fadenkreuz des Fernrohrs direkt gegen einen weit entfernten ungefähr in der Ebne des Theilkreises liegenden Lichtpunct S (Fig. 275), bringt dann das Prisma vor das Objectivglas und sucht durch Drehung sowohl des Fernrohrs, wie des Prismas auf seinem Träger, es dahin zu bringen, dass der gebrochne Strahl, bei seiner kleinsten Ablenkung, durch die Axe des Fernrohrs abermals zum Auge gelangt. Der Winkel $o\,c\,R$, um welchen das Rohr gedreht werden musste ist, wie leicht einzusehen, der Ablenkungswinkel des Strahls.

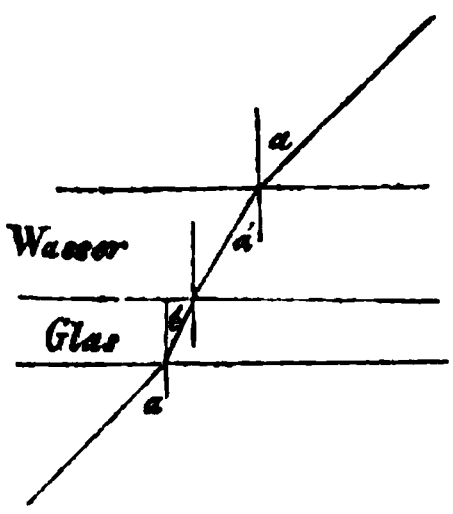
Auch der Winkel des Prisma's kann mit grosser Schärfe auf optischem Wege bestimmt werden, z. B. mittelst des Reflexionsganiometers oder auch mit Hülfe eines horizontalen Theilkreises, etwa dem des Theodoliths.

Flüssigkeiten, deren Eigenschaft das Licht zu brechen, untersucht werden soll, füllt man in prismatische Behälter, deren Wände aus Glasplatten mit genau parallel geschliffenen Oberflächen bestehen. Das Behälter besteht am Besten ebenfalls aus einer Glasplatte, $^1/_8$ Zoll dick, 2 Zoll breit und so durchbohrt, dass eine Oeffnung von beiläufig 1 Zoll Weite gebildet wird. Diese Platte lässt man zu einem Prisma schleifen und schliesst die von der einen Seitenfläche zur andern gehende Oeffnung mit zwei Plangläsern. Der innere Raum wird dann durch ein vom Rücken des Prisma's eingehendes Loch mit der Flüssigkeit angefüllt. Die Gase, deren Brechbarkeit sehr gering ist, füllt man in Hohlprismen mit sehr stumpfen Winkeln, um dadurch den Ablenkungswinkel so auffallend wie möglich zu machen, ein. Die innere

Höhlung muss ausserdem mit einem Barometer, und wenn die Brechbarkeit bei verschiedener Dichte untersucht werden soll, mit einem Verdichtungsapparate in Verbindung gesetzt werden können (Pogg. Ann. VI. 393; Biot traité III. 222; auch Gehl. Wört. n. B. I. 1140). Macht man den inneren Raum ganz luftleer, so ergibt sich das Brechungsverhältniss für das aus dem leeren Raum in Luft übergehende Licht. Dasselbe ist durch die Zahl 1,000294 ausgedrückt. Das Brechungsverhältniss verschiedenartiger Gase ist ungleich. Bei jedem einzelnen vermehrt es sich mit der Dichtigkeit und zwar ganz unabhängig von der Temperatur, insofern diese die Dichtigkeit unverändert lässt.

555. Da bei dem vorher beschriebenen Messverfahren die untersuchten brechenden Mittel stets von Luft umgeben sind, so beziehen sich die gefundenen Brechungsexponenten nur auf den Uebergang aus Luft in diese Mittel. Den Brechungsexponenten zwischen irgend zweien verschiedenartigen Mitteln, z. B. aus Wasser in Glas findet man dann durch Division ihrer Exponenten zu Luft. Der Beweis beruht auf der Thatsache, dass beim Durchgange des Lichtes durch zwei ungleichartige, von parallelen Wänden begränzten Platten, der ausgehende Strahl mit dem eingehenden stets gleichgerichtet ist.

Fig. 276.



Es sei z. B. mit Beziehung auf (Fig. 276) $\frac{sin.\,a}{sin.\,b} = n$ der Brechungsexponent aus Luft in Glas, also b der Einfallswinkel auf der Gränze von Glas in Wasser und a der Ausfallswinkel aus Wasser in Luft; bezeichnet man ferner mit a' den Winkel, den der Strahl mit beiden Gränzflächen des Wassers bildet, so ist der Brechungsexponent aus Luft in Wasser $n' = \frac{sin.\,a}{sin.\,a'}$, daher der entsprechende Werth, beim Uebergange aus Wasser in Glas:

$$N = \frac{sin.\,a'}{sin.\,b} = \frac{\frac{sin.\,a}{sin.\,b}}{\frac{sin.\,a}{sin.\,a'}} = \frac{n}{n'}.$$

Es ist z. B. für Spiegelglas $n = 1{,}533$; für Wasser $n' = 1{,}336$; daher aus Wasser in Glas $N = \frac{1{,}533}{1{,}336} = 1{,}147$.

Wegen der Veränderlichkeit der Luftbeschaffenheit ist es oft wünschenswerth, das Brechungsverhältniss eines Mittels auf den leeren Raum zu beziehen (N). Es wird bestimmt, indem man den Exponenten desselben Mittels bezogen zu Luft (n), mit dem Exponenten aus dem leeren Raume in Luft (N') multiplicirt. Denn nach der vorhergehenden Regel ist

$n = \frac{N}{N'}$, also $N = N' . n$. Z. B. der Brechungsexponent des leeren Raumes zu Wasser ist:

$$1{,}336 \times 1{,}000294 = 1{,}3364.$$

556. Farbenzerstreuung (Dispersion). Man lasse durch einen sehr engen Spalt im Laden direktes Sonnenlicht in ein verdunkeltes Zimmer fallen und fange dasselbe in einiger Entfernung vom Laden auf einem Papierschirm auf. Es wird sich auf dem letzteren ein weisser, glänzender Lichtstreif abbilden. Stellt man hierauf zwischen Spalt und Schirm, in den Weg der einfallenden Sonnenstrahlen, ein Prisma, seine brechende Kante gleichlaufend mit dem Spalte, so entsteht jenes farblose Bild nicht mehr, sondern die nunmehr gebrochnen Strahlen ordnen sich zu einer grossen Anzahl nebeneinander liegender gefärbter Streifen, welche auf dem Schirm die Figur eines Parallelogramms mit abgerundeten Enden darstellen, dessen Breite der Höhe des früheren farblosen Lichtstreifs gleichkommt, während es in der Richtung, winkelrecht gegen die brechende Kante des Prisma's sehr in die Länge gezogen erscheint, um so mehr, je grösser die Ablenkung ist, welche das gebrochene Licht erfuhr. Man nennt diese überaus gläuzende Lichterscheinung das Farbenbild (Spectrum).

Die einzelnen Farben des Spectrums verlaufen in einander durch sehr allmählige Abstufungen. Zunächst derjenigen Stelle, welche das farblose Bild des ungebrochnen Lichtes einnahm, zeigt sich ein sehr reines, glänzendes Roth, welches allmählig in Orange und dieses wieder in Gelb übergeht; auf dieses folgt Grün, dann Hellblau, Dunkelblau und endlich Violet, das den entferntesten Rand des Farbenbildes einnimmt und eine nur sehr geringe Lichtstärke besitzt. Die grösste Helligkeit herrscht im Gelb; sie vermindert sich von hier aus nach beiden Seiten.

557. Aus der Erscheinung des Farbenbildes hat zuerst Newton die Folgerung gezogen, dass das farblose Licht der Sonne aus farbigen Strahlen zusammengesetzt sei, welche parallel neben einander her laufen und nur durch ihr Zusammenwirken den Eindruck von Weiss hervorbringen. Diese in ihrer Farbe verschiedenen Strahlen besitzen aber eine ungleiche Brechbarkeit. Lässt man daher einen farblosen Strahl durch ein Prisma gehen, so werden seine Bestandtheile getrennt und nach verschiedenen Richtungen zerstreut. Das rothe Licht ist das am wenigsten brechbare und erfährt darum auch die geringste Ablenkung. Die violetten Strahlen besitzen unter allen die stärkste Brechbarkeit; sie entfernen sich desshalb am weitesten von der Richtung des

farblosen Strahls. Diese Theorie wird durch das Verhalten der farbigen Strahlen aufs vollkommenste bestätigt.

Lässt man das Spectrum, erzeugt durch ein senkrecht stehendes Prisma, anstatt auf den Schirm, auf die Fläche eines wagerecht gestellten Prisma's fallen, so zeigt sich, wenn die Oeffnung im Laden sehr enge war, keine neue Lichtzerstreuung; der vorher rothe Streifen bleibt roth, der grüne bleibt grün u. s. f. und zwar behalten alle dieselbe Länge und Breite wie früher. Nur erhält das Bild eine verschobene Lage, die vorher horizontalen Gränzlinien stellen sich schief und zwar vom Roth nach dem Violet hin allmählig ansteigend. Es kann demnach nicht bezweifelt werden, dass die Brechbarkeit der Strahlen in demselben Sinne zunimmt.

Befindet sich in dem Schirm, der das Spectrum aufnimmt, eine kleine Oeffnung, z. B. an der Stelle, wo das grüne Licht erscheint, und werden die durch diese Oeffnung gehenden Strahlen von einem zweiten Schirm aufgefangen, so zeigt sich auf demselben ein Sonnenbild, aber von grüner Farbe.

Denselben Eindruck machen die durch die kleine Oeffnung dringenden Strahlen, wenn sie direkt zum Auge gelangen. Lässt man sie auf ein zweites Prisma fallen, so werden sie zwar wieder gebrochen, aber jetz tohne die Farbe zu ändern. Das so weit zerlegte Licht wird daher einfaches Licht genannt.

Wenn man das durch ein Prisma zerlegte Sonnenlicht in geringem Abstande (Fig. 277) auf ein zweites Prisma fallen lässt, welches denselben brechenden Winkel besitzt, aber im umgekehr-

Fig. 277.

ten Sinne, d. h. so aufgestellt ist, dass die inneren und äusseren brechenden Flächen beider Prismen parallel laufen, so werden die nach der ersten Brechung auseinander gehenden und dadurch farbig gewordenen Strahlen durch die zweite Brechung wieder parallel gemacht, und geben auf einem Schirm aufgefangen ein vollkommen farbloses Bild.

Die Vereinigung der Elementarfarben zu Weiss lässt sich auch dadurch zeigen, dass man das Spectrum auf einem Hohlspiegel auffängt. Man erhält dann ein fast farbloses Luftbild des Lichtspaltes.

Auch durch den folgenden Versuch kann man beweisen, dass die Farben des Spectrums in ihrem Gesammt-Eindrucke sich zu Weiss ergänzen. Es ist bekannt, dass Lichteindrücke auf der

Netzhaut, selbst dann, wenn die erzeugende Ursache nicht mehr vorhanden ist, noch eine kurze Zeit fühlbar bleiben und dass aus diesem Grunde Einwirkungen, die mit einer gewissen Schnelligkeit der Folge immer dieselben Stellen der Netzhaut treffen, ganz den Effect eines ununterbrochnen Lichteindrucks hervorbringen. So z. B glaubt man, wenn eine glühende Kohle, an einem Eisendraht befestigt, rasch in der Luft herum geschwungen wird, einen leuchtenden Kreis zu sehen.

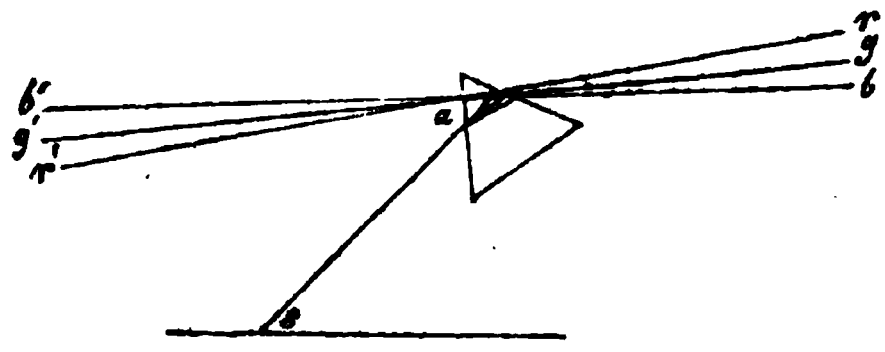
Eine kreisförmige mit schwarzem Papier überzogne Scheibe, von welcher nur ein einziger Ausschnitt gefärbt, z. B. roth angelegt ist, erscheint bei rascher Umdrehung über ihre ganze Oberfläche mit der Farbe bedeckt, welche nur ein einziger ihrer Ausschnitte besitzt. War ein Ausschnitt blau, ein anderer gelb angelegt worden, so erhält man den gemeinschaftlichen Eindruck beider Farben, nämlich grün. Theilt man nun in ähnlicher Weise die Scheibe in sieben Ausschnitte, trägt auf diese, so weit nur immer möglich, die den sieben Hauptfarben des Spectrums entsprechenden Farbenabstufungen auf, und gibt man dabei jedem Ausschnitte ungefähr dasjenige Grössenverhältniss, welches der Ausdehnung seiner Farbe im Farbenbilde entspricht, nämlich dem Roth 61^0, dem Orange 34^0, dem Gelb 54^0, dem Grün 61^0, dem Hellblau 55^0, dem Dunkelblau 34^0 und dem Violet 61^0; dreht man dann die Scheibe schnell um ihre durch den Mittelpunct gehende senkrechte Axe, so erscheint sie weiss oder nimmt doch eine dem reinen Weiss um so näher kommende Farbe an, je genauer man die Farben des Spectrums nachzuahmen verstanden hatte.

Bedeckt man die eine oder andere Farbe mit einem schwarzen Blatte, so können sich die übrigen nicht mehr zu Weiss ergänzen, sondern man erhält eine, je nach der Natur der ausgeschlossenen Farbe, verschiedene Farbenmischung. So zum Beispiele bewirkt der Ausschluss von Gelb eine violette, der Ausschluss von Orange eine blaue, der Ausschluss von Roth eine grüne Mischfarbe. Je zwei solcher Farbenmischungen, welche bei gemeinschaftlicher Einwirkung auf das Auge sich zu weiss ergänzen, nennt man **complementäre Farben**. (Gehl. Wörtb. n. B. IV. 86). Es ist einleuchtend, dass jede in der Natur vorkommende Farbe ihre complementäre Farbe hat, oder anders gesagt, dass die von ihr ausgehenden farbigen Lichtstrahlen in Verbindung mit gewissen anders gefärbten Strahlen, welche ihr fehlen, weiss hervorbringen würden.

557. Man lege einen schmalen Abschnitt weisses Papier auf matt-schwarzen Grund und betrachte denselben durch das Prisma, [illegible] das Prisma fallende weisse Licht, [illegible] Grunde, [illegible] Papier, [illegible]

durch Brechung in seine einfachen Bestandtheile zerlegt, wird, so weit es in das Auge eindringt, auf der Netzhaut *r g b* (Fig. 278)

Fig. 278.



ein ähnliches Farbenbild erzeugen, wie die durch einen Spalt im Laden einfallenden und durch das Prisma gebrochenen Sonnenstrahlen auf einem weissen Schirm. Weil wir aber gewohnt sind, alle Lichteindrücke nach Aussen zu verlegen, so erblicken wir den auf der Netzhaut wirklich abgebildeten blauen Lichtstreif *b*, welcher den am stärksten abgelenkten Lichtstrahlen entspricht in *b'*, den gelben Lichtstreifen *g* in *g'*, und eben so den rothen *r* in *r'*. Der farblose Papierstreif *s* erscheint daher in farbige Streifen zerlegt und gehoben; die niedrigste Stellung nimmt der rothe Streif ein, der blaue oder eigentlich der violette zeigt sich am meisten aus seiner natürlichen Lage verrückt.

Wird ein schmaler Papierabschnitt der Länge nach zur Hälfte roth, zur andern Hälfte blau gefärbt, dann so auf den dunklen Grund gebracht, dass die rothe Seite oberhalb der blauen zu liegen kommt; so erscheint, unter dem Prisma betrachtet, das Blau gleichwohl über dem Roth. Befindet sich aber ersteres wirklich oben, so zeigen sich beide Streifen durch einen schwarzen Zwischenraum getrennt.

Die natürlichen Farben der Körper sind in der Regel keine einfachen Farben. Schmale Streifen derselben, auf dem dunkeln Grunde unter dem Prisma angesehen, erscheinen daher fast immer in ein breiteres Farbenbild verwandelt; oder die zusammengesetzte Farbe wird in ihre einfachen Bestandtheile zerlegt.

Wird ein breiter Papierstreifen unter dem Prisma betrachtet, so bemerkt man diese Verschiebung der einzelnen farbigen Streifen, aus welchen er gleichsam zusammengesetzt ist, nur an den Rändern; in der Mitte decken sich aber noch alle Farben und geben daher den Eindruck der natürlichen Färbung des Papiers. Hieraus erklärt sich, warum die Gränzen ungleich gefärbter Flächen, wenn sie durch das Prisma gesehen werden, Farbensäume erhalten. Leicht wird man sich z. B. jetzt Rechenschaft darüber geben können, warum an weissem Papier, auf dunklerem Grunde,

nach der Seite der brechenden Prismakante, ein violetter und blauer Saum, an der andern Seite hingegen ein rother und gelber Saum hervortritt.

Eine weisse Fläche erscheint unter rother Beleuchtung roth, unter gelber gelb, unter blauer blau; kurz, sie nimmt immer die Farbe der Strahlen an, von welchen sie getroffen wird, sie reflectirt Lichtstrahlen aller Art gleich gut.

Die Folgerung liegt nahe, dass die natürlichen Farben der Körper daher rühren, weil sie die verschiedenen Lichtsorten nicht gleich gut zurückwerfen; dass z. B. eine grüne Fläche vorzugsweise grünes Licht reflectirt, dagegen rothes durchlässt oder, was das gewöhnlichere ist, dasselbe verschluckt. In der That findet man, dass wenn das Spectrum auf einen gefärbten Schirm geworfen wird, diejenige Farbe, welche der des Schirmes entspricht, am lebhaftesten hervortritt. Auf einem indigoblauen Papier z. B. geben die blauen Strahlen ein sehr volles Blau. Die grüne Farbe zeigt sich darauf schon viel weniger lebhaft und in den rothen Strahlen erscheint es fast schwarz. Diese letzten werden also grösstentheils verschluckt.

Durchsichtige Körper, welche eine Farbe besitzen, verhalten sich gewöhnlich gegen gleichgefärbte Lichtstrahlen, wie farbloses Glas gegen das weisse Licht. So gestattet rothes Glas vorzugsweise den rothen Strahlen den Durchgang, grünes den grünen. Bedeckt man daher ein rothes Glas mit dem ihm complementären grünen Glas, so wird fasst gar kein Licht mehr durchgelassen.

558. Frauenhofer'sche Linien. — Das Spectrum auf die früher (No. 556) beschriebene Weise dargestellt, zeigt keine ganz reinen, einfachen Farben, so schmal auch der Spalt sein mag, durch welchen man die Sonnenstrahlen einfallen lässt. Denn diese Strahlen sind, vermöge der scheinbaren Grösse der Sonnenscheibe ($\frac{1}{2}$ Grad des Himmelsbogens), nicht ganz parallel; sie bilden hinter dem Spalt keine Lichtlinie, sondern eine mit dem Abstand an Breite zunehmende Lichtfläche; deren durch das Prisma erzeugte Farbenbilder mithin theilweise in einanderfallen und sich mischen müssen. — Hierzu kommt noch die meist unvollkommene Klarheit des brechenden Mittels, wodurch eine unregelmässige Zerstreuung des Lichtes herbeigeführt wird. Flüssige Prismen zeigen diesen Uebelstand nicht. Unter den Gläsern eignet sich am besten das bleihaltige Glas (Flintglas); doch muss man das Licht möglichst nahe an der brechenden Kante durchlassen, während der übrige Theil der brechenden Fläche bedeckt ist.

Man leite einen durch den Spalt wagerecht einfallenden Lichtbündel im Abstande von wenigstens 10 — 15 Fuss gegen

die Kante eines Flintglas-Prismas und richte dieses auf das Minimum der Ablenkung. Das so erzeugte Farbenbild betrachte man dann durch ein unmittelbar hinter dem Prisma aufgestelltes gutes Fernrohr. Man wird die Farbenstreifen, getrennt durch eine grosse Anzahl, mit dem Spalt gleichlaufender dunkler, bald breiterer, bald weniger breiten Linien erblicken. Diese dunklen Linien im Spectrum sind im Jahre 1814 von Frauenhofer entdeckt worden. Es zeigen sich deren eine um so grössere Zahl, je schmaler der Spalt, je stärker die brechende und zerstreuende Kraft des Prismas, so wie die bewirkte Vergrösserung. Mit unbewaffnetem Auge sind nur wenige der stärksten wahrnehmbar. Ihr Auftreten scheint darauf hinzuweisen, dass zwischen den verschiedenen Farbenabstufungen der Lichtstrahlen, was ihre Brechbarkeit betrifft, keineswegs ein stetiger Uebergang statt findet. Eine Vorstellung, die überdiess noch durch die Thatsache gerechtfertigt wird, dass sich ganz dieselben Linien zeigen, mag man nun das directe Sonnenlicht oder das indirecte des bewölkten Himmels oder auch das vom Monde oder den Planeten reflectirte benutzen; dass dagegen im gebrochnen Lichte der Sterne oder anderer Lichtquellen auch andere Linien auftreten. Die relative Lage der dunkeln Linien im Spectrum ist unabhängig von dem brechenden Winkel, und selbst der Stoff des Prismas, obschon er ihre gegenseitigen Abstände ändert, ist doch ohne Einfluss auf ihre Anzahl so wie auf die Art ihres Vorkommens in verschiedenen Theilen des Spectrums.

Frauenhofer unterschied gegen 600 Linién*), von welchen er mehrere besonders auffallende, in der Richtung vom Roth gegen Violet mit den Buchstaben A, B, C, D, E, F, G, H bezeichnete (Fig. 5. Pl. V). Wegen ihrer völligen Unveränderlichkeit, so wie der Leichtigkeit sie zu erkennen, dienen sie als ungemein sichre Ausgangs- und Vergleichungspuncte bei der Bestimmung der Brechungsexponenten.

Durch genaue Messung ihrer Winkelabstände in verschiedenen Mitteln, insbesondere in verschiedenen Sorten Crown- (Spiegel-) und Flint - Glas lieferte Frauenhofer überaus wichtige Data zur Construction achromatischer Fernröhren; die den praktischen Optiker in den Stand gesetzt haben, achromatische Objective mit einer vordem unbekannten Sicherheit und Vollkommenheit zu verfertigen (Siehe Tab. XVII).

Im Farbenbilde des Lampenlichtes, das vor der Brechung durch einen engen Spalt gegangen war, lassen sich unmittelbar keine dunklen Linien

*) Brewster, durch Anwendung sehr starker Vergrösserung sogar mehr als 2000.

wahrnehmen; hatte man aber ein mit salpetrigsaurem Gas gefülltes Glasrohr in den Weg der Strahlen gestellt, so erblickt man alsbald hunderte von dunklen Linien, welche bei vergrösserter Dicke oder auch durch Erwärmung der Gasschicht an Stärke zunehmen, bis endlich gar kein Licht mehr durchgelassen wird (Brewster*). Aehnliche dunkle Linien von grosser Stärke und Regelmässigkeit kann man durch Joddämpfe hervorbringen. Nach Brewster nehmen auch die dunklen Linien des Sonnenspectrums, unter dem Einflusse des salpetrigsauren Gases an Breite zu. Da er ausserdem bemerkt hatte, dass sie kurz vor dem Untergang der Sonne, wenn ihre Strahlen die dickste Schicht der Atmosphäre durchdringen müssen, am deutlichsten werden, so schliesst er, dass sie ihre Entstehung einer Licht absorbirenden Kraft der Atmosphäre zu verdanken haben.

Das Licht der meisten Lichtquellen wird durch das Prisma in ein mehr oder weniger vollkommenes Farbenbild zerlegt; doch kommen einige vor, welche nur gleichartiges Licht ausstrahlen. So ist die Flamme des mit Kochsalz gesättigten Weingeistes homogen gelb. (Monochromatische Lampe**).

Brewster hat den Vorschlag gemacht, die Brechungsexponenten der durchsichtigen Mittel auf die dunklen Linien zu beziehen, welche das salpetrigsaure Gas im Farbenbilde der Lampenflamme bewirkt. Anwendung hat man hiervon, so weit bekannt, bis jetzt nicht gemacht. Insgemein begnügt man sich mit der Bestimmung der Brechungsexponenten für die Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, und diese sind auch bei den Angaben auf Tafel XVIII, vorzugsweise gemeint. Bei den Gasen, deren Brechbarkeit an und für sich so gering ist, wird die Farbenzerstreuung gewöhnlich gar nicht wahrgenommen.

Das Brechungsverhältniss gasförmiger Körper wächst mit ihrer Dichtigkeit. Werden die bei verschiedenen Dichtigkeiten eines Gases bestimmten Exponenten zum Quadrat erhoben und die Einheit davon abgezogen, so findet man, dass die so erhaltenen Ausdrücke den Dichtigkeiten proportional sind; oder dass jeder derselben durch die entsprechende Dichtigkeit dividirt ein und dieselbe beständige Grösse gibt.

Wenn n den Brechungsexponenten eines beliebigen Mittels und δ seine Dichtigkeit bedeutet, so nennt man $n^2 - 1$ seine absolute brechende Kraft, und den Ausdruck $\frac{n^2-1}{\delta}$ sein specifisches Brechungs-Vermögen. Aus dem Vorhergehenden leuchtet ein, dass das specifische Brechungsvermögen für jedes besondere Gas eine beständige und von seiner Dichtigkeit unabhängige Grösse ist. Ist es bekannt, so lässt sich daraus der Brechungsexponent für jede Dichtigkeitsveränderung des Gases ableiten.

So war es möglich die Brechungsexponenten der in Tafel XIX bezeichneten Gase auf die Temperatur von 0° und auf den mittleren Barometerstand zu beziehen.

Die brechende Kraft gemengter Gase ist, wie Dülong bewiesen hat, gleich dem Mittelwerth aus der Summe der brechenden Kräfte ihrer Bestandtheile (Pogg. Ann. VI. 405). Diese Regel gilt jedoch nicht für eine einzige gasförmige Verbindung. Ueberhaupt ist es bis jetzt nicht gelungen, zwischen dem Brechungsvermögen chemischer Verbindungen und dem ihrer Bestandtheile irgend allgemein geltende Beziehungen zu entdecken. — Bemerkenswerth ist das durchschnittlich grosse Brechungsvermögen brennbarer Stoffe, woraus bekanntlich schon Newton auf die Verbrennlichkeit des Diamants geschlossen hat. — Die brechende Kraft des Wassers wird

*) Pogg. Ann. XXXVIII. 50.
**) Pogg. Ann. II. 101.

durch Aufnahme von Zucker und Alkohol sehr bedeutend verändert. Steinheil hat diese Thatsache zu einem Verfahren benutzt, um aus der ungleichen Brechbarkeit des Lichtes in wässrigen Mischungen von Weingeist und Zucker von verschiedener Concentration, z. B. in verschiedenen Bieren, bei gleichzeitig bekannter Dichtigkeit der Mischung, ihren Gehalt an Zucker und Alkohol abzuleiten. Eine hierzu erforderliche, aus Beobachtungen berechnete Tabelle findet sich in den Denkschriften der Münchner Akademie aus dem Jahre 1843.

559. **Achromatismus.** — **Die Brechbarkeit verschieden gefärbter Strahlen ändert sich von einem Mittel zum andern keineswegs in proportionaler Weise. Die durch verschiedene brechende Mittel, bei gleicher Ablenkung der mittleren Strahlen bewirkten Farbenbilder haben desshalb weder in ihren einzelnen Theilen noch im Ganzen einerlei Länge. Man lasse z. B. die durch ein Wasserprisma, durch ein Crownglas-Prisma und durch ein Flintglas-Prisma bei gleicher mittlerer Ablenkung erzeugten Farbenbilder, auf dieselbe weisse Fläche unter einander fallen. Man wird sogleich sehr auffallende Unterschiede in den Dimensionen dieser drei Spectra wahrnehmen.**

Eine sehr deutliche Anschauung dieses für die praktische Optik überaus wichtigen Verhaltens gewinnt man durch aufmerksame Betrachtung der Tafel XVII. Einem Brechungsexponenten $n = 1$ entspricht die Ablenkung Null; man erkennt hieraus, dass die durch Brechung in einem beliebigen Mittel bewirkte Ablenkung nicht wie der Brechungsexponent selbst, sondern wie die Grösse seines Unterschiedes gegen die Einheit, wie $n - 1$ zunimmt. Aendert sich der Exponent n um einen kleinen Werth, verwandelt er sich dadurch in n'; so kann man, ohne viel zu fehlen, annehmen, dass die aus dem Unterschiede $n' - n$ erwachsende Aenderung der Ablenkung in demselben Verhältnisse zu diesem Unterschiede stehe, wie die ganze Ablenkung zu $n - 1$. Da die Unterschiede in der Brechbarkeit der Lichtstrahlen in allen Fällen sehr gering sind, so gewährt der Quotient $\frac{n' - n}{n - 1}$ ein brauchbares Mittel, die Vermögen verschiedener Körper, farbige Strahlen zu zerstreuen, unter einander zu vergleichen. Man bezeichne die den Linien B, E und H im Spectrum zugehörenden Brechungsexponenten mit n, n', n''; so findet man z. B. für Flintglas von 3,723 spec. Gew. $n' - n = 0{,}014$; $n'' - n = 0{,}043$; $n - 1 = 0{,}628$. Die ganze Länge des Farbenbildes zwischen B und H, bezogen auf die Einheit der Ablenkung ist daher: $\frac{0{,}043}{0{,}628} = 0{,}06847$. Der Abstand von B bis H übertrifft den von B bis E um mehr als das dreifache.

Für Crownglas von 2,535 spec. Gewicht ist $n' - n = 0{,}007$; $n'' - n = 0{,}019$; $n - 1 = 0{,}526$. Die Länge des Spectrums zwischen den Linien B und H beträgt also in diesem Falle nur $\frac{0{,}019}{0{,}526} = 0{,}03612$; und der Abstand von B bis H ist nur der $2\frac{1}{2}$fache von dem zwischen B und E.

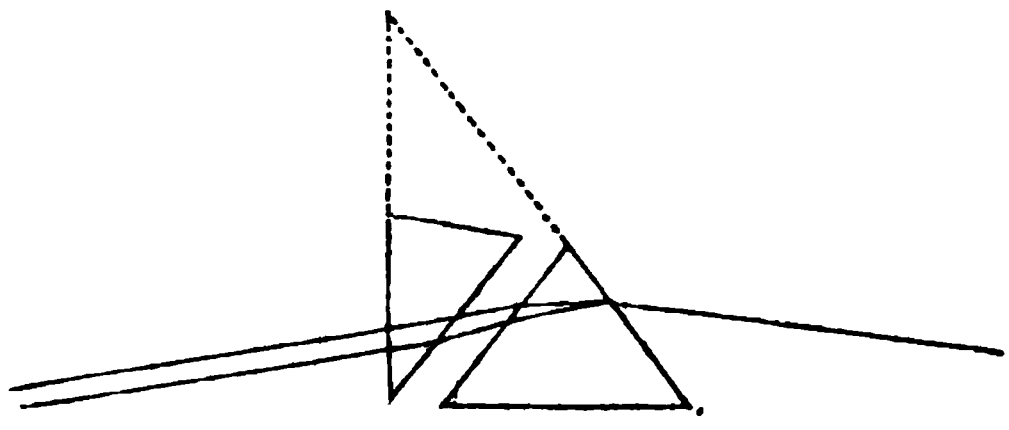
Die gleichfarbigen Strahlen befinden sich also in beiden Farbenbildern nicht in proportionalen Abständen, und das Flintglas zerstreut das Licht, bei gleicher Ablenkung fast noch einmal so stark als das Crownglas.

Aehnliche Verschiedenheiten bemerkt man bei andern Körpern. Ein

sehr grosses Zerstreuungsvermögen besitzen: der Diamant, die flüchtigen Oele, Schwefel, Phosphor, Metallsalze.

In Folge der grossen Verschiedenheit in der zerstreuenden Kraft des Crownglases und des Flintglases, müssen Prismen aus beiden Stoffen, die Farbenbilder von gleicher Ausdehnung erzeugen sollen, sehr ungleiche Winkelgrösse besitzen. Stellt man zwei solcher Prismen in der Art neben einander, dass sie in entgegengesetzten Richtungen brechen (Fig. 279), so wird die im Crownglas-Prisma bewirkte Zerstreung oder divergirende Aus-

Fig. 279.



breitung der farbigen Strahlen durch die gleich grosse aber entgegengesetzte Wirkung des Flintglas-Prisma's wieder aufgehoben. Die im ersten Prisma parallel einfallenden Strahlen verlassen das zweite ebenfalls in parallelen Richtungen und geben folglich ein farbloses Bild. Dieses Bild erscheint aber noch immer verschoben, weil die beiden äussersten brechenden Flächen der Prismen noch immer eine Winkel-Neigung gegen einander behalten. Ein System von Prismen, welches die Eigenschaft besitzt, die Lichtstrahlen abzulenken ohne sie doch in Farben zu zerstreuen, nennt man ein achromatisches Prisma. Die Farbenzerstreuung lässt sich jedoch auf dem beschriebenen Wege nicht ganz und gar aufheben, weil, wie oben gezeigt wurde, die gleichgefärbten Strahlen in verschiedenen Mitteln nicht in proportionaler Weise zerstreut werden. Werden z. B. die den Linien *B* und *H* im Spectrum benachbarten Strahlen parallel gemacht, so kann dies nicht zugleich, oder doch nicht mit gleicher Schärfe mit den um die Linie *E* liegenden Strahlen der Fall sein. Aus diesem Grunde bleiben immer noch schwache Farbensäume (sekundäre Farbenbilder) zurück, die jedoch wenig auffallen und bei der praktischen Anwendung des Achromatismus von keinem sehr grossen Nachtheile sind.

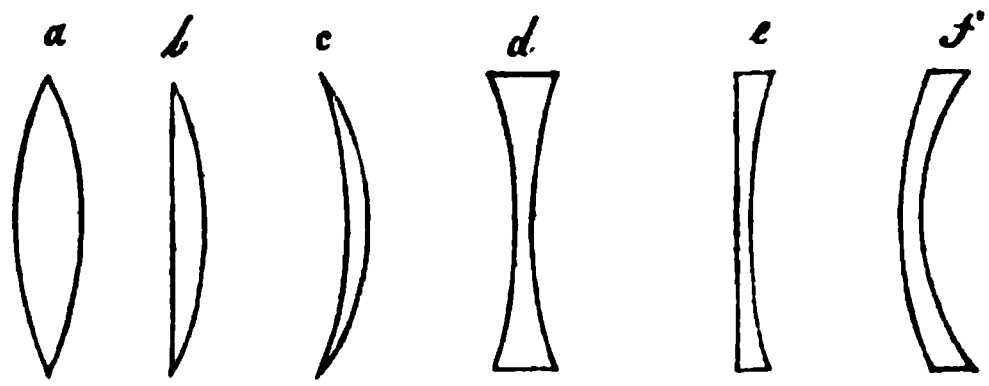
Man hat von dem Achromatismus die wichtigste Anwendung gemacht zur Ausführung von optischen Linsen, welche farbloses Licht durchlassen, und daher achromatische Linsen genannt werden. Newton war die Ungleichheit des Zerstreuungs-

vermögens verschiedener Mittel entgangen. Euler machte auf die Möglichkeit aufmerksam, durch geeignete Combinationen achromatische Prismen und Linsen zu verfertigen. Das erste achromatische Fernrohr hat der Mechaniker Dollond in London ausgeführt.

560. Von den optischen Linsen. — Optische Linsen nennt man durchsichtige Mittel, welche auf zwei gegenüberliegenden Seiten von Umdrehungsflächen, gewöhnlich von Kugelabschnitten (daher sphärische Linsen) begränzt sind.

Es gibt sechs verschiedene Arten solcher Linsen: *a*) die biconvexe (Fig. 280), mit zwei erhabnen Oberflächen; *b*) die

Fig. 280.



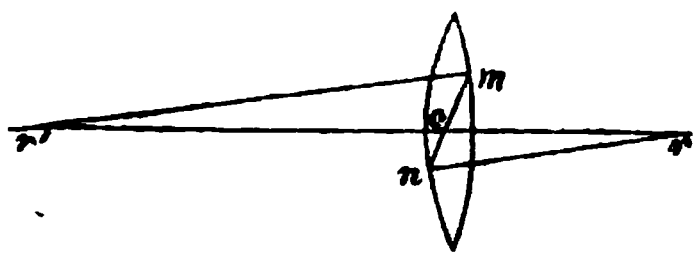
planconvexe, die eine Oberfläche eben, die andere erhaben; *c*) die concavconvexe, die eine Oberfläche hohl, die andere erhaben; *d*) die biconcave mit zwei concaven Oberflächen; *e*) die planconcave; *f*) die convexconcave. Die drei ersten nennt man nach ihrer wichtigsten optischen Eigenschaft auch Sammellinsen. Sie unterscheiden sich von den drei letzten, welche Zerstreuungslinsen heissen, leicht dadurch, dass sie in der Mitte dicker als am Rande, die letzten aber am Rande dicker als in der Mitte sind. *c* und *f* führen auch die Namen Menisken, so wie periscopische Gläser. Gewöhnlich sind die Linsen aus Glas geschliffen, zuweilen aber auch aus Bergkrystall. Auch hat man hohle Linsen aus Uhrgläsern zusammengesetzt, die dann mit einer brechenden Flüssigkeit gefüllt werden.

Man nennt eine sphärische Linse centrirt, wenn die gerade Linie, welche die Krümmungsmittelpuncte beider Kugelabschnitte verbindet, zugleich durch die Mitte der Linse geht. Planconvexe und planconcave Linsen sind centrirt, wenn der die Mitte der krummen Fläche durchschneidende Radius auf der ebnen Fläche senkrecht steht. Zu optischen Zwecken sollen nur centrirte Linsen verwendet werden.

Ein Punct in der geraden Verbindungslinie beider Krümmungsmittelpuncte einer Linse, welcher die Eigenschaft besitzt, dass jede durch denselben geführte gerade Linie an beiden Begränzungsflächen der Linse auf solche Stellen trifft, die zu einander parallel stehen, wird der optische Mittelpunct genannt.

Dieser Punct liegt genau in der Mitte der Linse, wenn ihre beiden Oberflächen gleiche Krümmung haben. Sind sie ungleich, so nähert er sich der Seite der stärkeren Krümmung.

Fig. 281.



Um in diesem Falle seine Lage genau zu bestimmen, ziehe man, wenn r (Fig. 281) den Krümmungsmittelpunct der einen, r' den der andern Oberfläche bedeutet, in beliebiger Richtung den Radius $r'm$, dann damit parallel den Radius rn, und verbinde m mit n durch eine gerade Linie. Der Durchschnittspunct o ist der optische Mittelpunct. Es ist aber:

$$\frac{or}{or'} = \frac{nr}{mr'}.$$

Ist die eine Linsenfläche eben, so fällt der optische Mittelpunct in den Durchschnittspunct der krummen Fläche mit ihrem auf der ebnen Fläche senkrecht stehenden Radius. Bei concav-convexen Linsen befindet sich dieser Punct sogar ausserhalb der Linse, auf der Seite der stärksten Krümmung.

Jede durch den optischen Mittelpunct einer Linse gehende gerade Linie heisst eine Axe derselben. Geht sie zugleich noch durch die beiden Krümmungsmittelpuncte, wie die Linie ror', so wird sie Hauptaxe genannt. Lichtstrahlen die in der Richtung einer Axe durch eine Linse fahren, nennt man Hauptstrahlen. Sie verhalten sich, wie wenn sie durch eine von parallelen Wänden begränzte Glasplatte gegangen wären, d. h. sie werden von ihrer Richtung nicht abgelenkt.

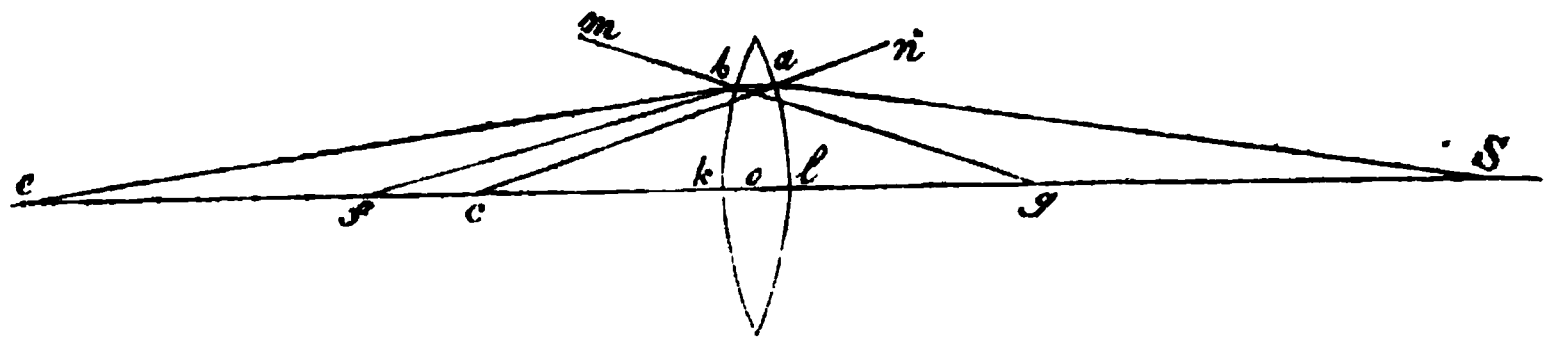
Die Linsen bestehen gleichsam aus einer grossen Zahl übereinander geschichteter Prismastücke, deren brechender Winkel mit dem Abstande von der Mitte zunimmt. Lichtstrahlen, welche von irgend einem Puncte einer Axe ausgehend, die Linse treffen, werden daher um so stärker gebrochen, je näher dem Rande sie einfallen. Die allgemeine Wirkung der drei ersten Arten besteht darin, die Divergenz der einfallenden Strahlen zu vermindern und selbst in Convergenz zu verwandeln. Durch den Einfluss der drei letzten Arten werden, wie man leicht sieht, die Strahlen mehr oder weniger zerstreut.

561. Sammellinsen. — Wenn beide Flächen einer sehr dünnen Linse nur sehr kleinen Segmenten der Kugeln, welchen sie angehören, entsprechen; oder wenn man bei stärkeren Krümmungen nur solche Strahlen in Betrachtung zieht, die in der Nähe der Mitte einfallen (Centralstrahlen); so kann man, jedoch nur unter diesen Einschränkungen, die Wirkung einer Sammellinse auf folgende Art durch Rechnung bestimmen.

Man setze (Fig. 282) den Radius der Vorderfläche $ca = r$; den der Hinterfläche $gb = r'$; ferner den Abstand eines leuchtenden Punctes S von dem optischen Mittelpuncte, nämlich $So = l$, und folglich auch wegen der sehr geringen Dicke der Linse: $l = Sa = Sl$; dann $eo = d$ und wieder näherungsweise auch $d = ea = eb = ek = el$; endlich $fo = fk = fb = f$.

Ein Lichtstrahl (Fig. 282) Sa an der Vorderfläche der Linse bei a ankommend, werde in der Richtung ab gebrochen, und müsste demgemäss die

Fig. 282.



Axe Soe des Lichtpunktes S in e schneiden. Bei seinem Austritt aus der Linse, bei b, erleidet er aber eine zweite Brechung und wird genöthigt den Weg bf zu verfolgen. Er schneidet daher die Axe in f.

Nun ist für die erste Brechung: $n : 1 = \sin. naS : \sin. bac$, oder auch da $\sin. naS = \sin. caS$

$$n : 1 = \sin. caS : \sin. bac$$

ferner im Dreiecke Sac:

$$Sa : Sc = \sin. c : \sin. caS$$

im Dreiecke eac:

$$ec : ea = \sin. bac : \sin. c.$$

Werden diese drei Gleichungen Glied für Glied zusammen multiplicirt, so erhält man:

$$n . Sa . ec : Sc . ea = 1. \quad (I)$$

Für die zweite Brechung bei b ist:

$$n : 1 = \sin. m'bf : \sin. abg;$$

oder auch, da $\sin. m'bf = \sin. fbg$ und $\sin. abg = \sin. ebg$,

$$n : 1 = \sin. fbg : \sin. ebg$$

ferner im Dreiecke fbg

$$fb : fg = \sin. bgf : \sin. fbg$$

im Dreiecke ebg

$$eg : eb = \sin. ebg : \sin. bgf.$$

Diese drei Gleichungen, wie vorher, Glied für Glied multiplicirt, wird erhalten:

$$n . fb . eg : fg . eb = 1. \quad (II)$$

Die Gleichungen I und II verwandeln sich durch Einführung der oben angenommenen Zeichen, und indem man $ec = d - r$, $Sc = l + r$, ferner $eg = d + r'$ und $fg = f + r'$ setzt, in die folgenden:

Aus I wird: $nl\,(d - r) : (l + r) = 1$ oder auch:

$$(nl - l - r)\,d = nlr$$

Aus II wird: $nf\,(d + r') : (f + r')\,d = 1$ oder auch:

$$(f + r' - nf)\,d = nfr'$$

Die erste dieser Gleichungen durch die zweite dividirt, erhält man nach den erforderlichen Reductionen:

$$lr r' = \{ (n - 1)\,(r + r')\,l - r r' \}f$$

und indem man noch durch $lr r' f$ dividirt:

$$\frac{1}{f} = \frac{(n - 1)\,(r + r')}{r r'} - \frac{1}{l}$$

Mit Hülfe dieser Gleichung lässt sich das Verhalten optischer Linsen gegen die central einfallenden Strahlen mit Leichtigkeit voraussehen.

Man hat der bequemeren Betrachtung wegen, den ersten Theilsatz des zweiten Gliedes, welcher sich auf die besondere Beschaffenheit der ver-

wendeten Linse bezieht, mit $\frac{1}{p}$ bezeichnet und erhält dadurch:

$$(\alpha);\ \frac{(n-1)(r+r')}{rr'} = (n-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right) = \frac{1}{p} \quad \text{und}$$

$$(\beta);\ \frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{l} \text{ oder auch } f = \frac{pl}{l-p}.$$

Die Puncte S und f welche den Abständen l und f von der Linse entsprechen, liegen nach Annahme in der Axe der Linse. Was für den Strahl Sa richtig ist, gilt mit gleichem Rechte für alle unter ähnlicher Beziehung stehenden Strahlen, also für alle Centralstrahlen. Die Gleichung (β) belehrt uns hiernach, dass alle von einem Puncte der Axe ausgehenden und die Linse in der Nähe der Mitte treffenden Strahlen, in Folge der Brechung wieder in einem Puncte der Axe vereinigt werden. Die Richtung des Hauptstrahls eines Strahlenbündels zeigt diejenige Richtung an, in welcher alle Strahlen nach der Brechung wieder zusammentreffen. Nehmen wir zuerst an, der Punct S sei unendlich weit entlegen, also alle von ihm ausgehenden Strahlen parallel, so hat man für l unendlich gross $\frac{1}{l} = o$, daher $f = p$.

Parallel einfallende Strahlen vereinigen sich im Abstand p von der Linse. Diesen Vereinigungspunct parallel einfallender Strahlen, nennt man den Brennpunct. Seine Entfernung vom optischen Mittelpunct die Brennweite. Seine Lage hängt, wie man aus Gleichung (α) erkennt, von der Beschaffenheit der Linse ab. Er entfernt sich von dieser um so mehr, je grössere Krümmungshalbmesser r und r' man gewählt hat. Ist r' unendlich gross, so hat man den Fall der planconvexen Linse, deren Brennpunct also noch einmal so weit entfernt liegt, als wenn $r = r'$. Seine Entfernung nimmt noch mehr zu, jedoch immer im positiven Sinne, wenn r' negativ übrigens grösser als r genommen wird. Diess ist der Fall der concav-convexen Linse. Die drei Linsensorten $a)$, $b)$ und $c)$ haben also wirkliche Brennpuncte und sie theilen die Eigenschaft, Strahlen, welche parallel mit der Axe einfallen, in diesem Puncte zu vereinigen.

Die Lage des Brennpunctes ist ausserdem von dem Brechungsverhältnisse des Stoffes der Linse abhängig. Z. B. für Linsen aus Crownglas, die auf beiden Seiten gleiche Krümmung haben, fällt der Brennpunct fast mit dem Krümmungsmittelpuncte zusammen, weil $n-1$ nahe 0,5.

Setzen wir jetzt in Formel (β), $l = p$ so findet man $\frac{1}{f} = 0$ d. h. f unendlich gross. Die vom Brennpuncte ausgehenden Strahlen fallen auf der andern Seite parallel aus.

Für $l = 2p$ ist $f = 2p$. Während also der Lichtpunct aus unendlicher Entfernung bis zum Abstande $2p$ gegen die Linse rückt, entfernt sich der Vereinigungspunct f aus dem Abstande p bis zu $2p$. Rückt der Lichtpunct noch näher bis gegen p hin, so entfernt sich f allmählig bis auf unendliche Ferne.

Es ist für die Anwendung der Linsen von sehr grosser Wichtigkeit, dass grosse Aenderungen im Abstande des aus der Ferne näher rückenden Lichtpunctes, verhältnissmässig nur geringe Schwankungen in der Lage des Punctes f zur Folge haben, wie man deutlich aus der folgenden Zusammenstellung ersieht.

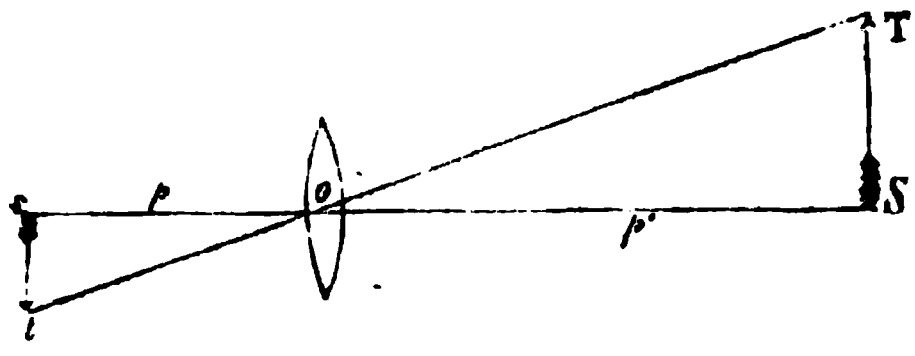
für	$l = 2p$	ist	$f = 2p$
„	$l = 10p$	„	$f = 1{,}111p$
„	$l = 20p$	„	$f = 1{,}0526p$
„	$l = 50p$	„	$f = 1{,}0204p$
„	$l = 100p$	„	$f = 1{,}0101p$
„	$l = 1000p$	„	$f = 1{,}0010p$.

Rückt der Lichtpunct über den Brennpunct hinaus gegen die Linse, wird l kleiner als p, so findet man f negativ. Z. B. für $l = \frac{1}{4}p$ ist $f = -p$. D. h. die Strahlen bleiben divergirend, sie scheinen aber von einem Puncte herzukommen, welcher weiter von der Linse entfernt liegt, als ihr wirklicher Ausgangspunct. Diesen scheinbaren Vereinigungspunct nennt man auch den eingebildeten (imaginären).

562. Es ist sehr leicht, das Verhalten der optischen Sammellinsen durch den Versuch zu bewähren. Man lasse zu diesem Zwecke durch ein rundes, ein bis zwei Zoll weites Loch im Laden, einen Bündel, mit Hülfe eines Spiegels horizontal gerichteter Sonnenstrahlen, in das verdunkelte Zimmer einfallen, und stelle denselben eine Linse von mässiger Krümmung entgegen. Aus den beleuchteten Staubtheilchen erkennt man sogleich den Weg der Strahlen. Man bemerkt, wie sie sich mehr und mehr concentriren, eine Stelle der grössten Dichtigkeit erreichen und dann wieder auseinandergehen. Diese Stelle, an welcher man auf einem den Strahlen entgegengesetzten weissen Schirm ein glänzendes Bild der Sonne erhält, ist der Brennpunct der Linse. Indem man den jenseits des Brennpunctes divergirend gewordenen Strahlen andere Linsen darbietet, lassen sich alle, auf dem Wege der Rechnung vorausgesehenen Resultate, durch das Experiment bestätigen.

Kleine Drehungen einer Linse um ihren optischen Mittelpunct, in welchem Sinne sie auch stattfinden mögen, zeigen sich ohne Einfluss auf die Lage des Vereinigungspunctes der Strahlen, so wie auf die Deutlichkeit des erhaltenen Sonnenbildes. Man muss hieraus schliessen, dass, was für die Hauptaxe bewiesen wurde, innerhalb gewisser, nicht sehr weiter Gränzen, auch für die Nebenaxen gültig ist. Jeder helle Gegenstand, auf der einen Seite einer Linse und ausserhalb ihrer Brennweite befindlich, wird also vermöge der von ihm ausgehenden Strahlen auf der andern Seite ein Bild (Luftbild) erzeugen, und zwar wird jeder Punct des Gegenstandes einen Vereinigungspunct der von ihm gegen die Linse gerichteten Strahlen in derjenigen geraden Linie oder Ne-

Fig. 283.



benaxe erhalten, die von dem Puncte aus durch den optischen Mittelpunct der Linse geht. Die Bilder stehen daher verkehrt.

Um diese Bilder mehreren Personen zugleich zu zeigen, kann eine gute argandische Lampe dienen, die man mit einem geschwärzten Blechcylinder umschliesst, in welchen eine geeignete Figur, z. B. ein Kreuz eingeschnitten ist. Die durch diese Oeffnung fahrenden Strahlen erzeugen dann auf der andern Seite der Linse ein Bild, das auf einem Schirm aufgefangen die Gestalt der Oeffnung hat, aber verkehrt steht. Seine Grösse hängt von der Brennweite, und der Entfernung der Lampe von der Linse ab. Befindet sich die Lampe zwischen der einfachen und doppelten Brennweite, so entstehen vergrösserte Bilder. Befindet sie sich jenseits $2p$, so ist das Bild kleiner als sein Original. In der doppelten Brennweite selbst aufgestellt, erzeugt sich auch das Bild in der doppelten Brennweite, und hat die Grösse des Gegenstandes.

Im Allgemeinen ist die lineare Dimension des Bildes durch das Verhältniss (Fig. 283)

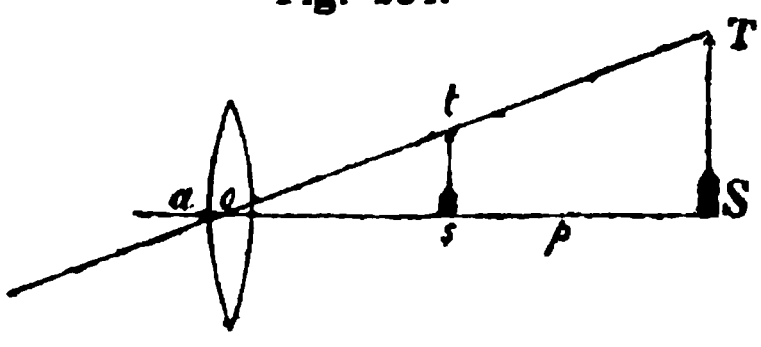
$$\frac{ST}{st} = \frac{oS}{os} = \frac{l}{f}$$

gegeben.

Nach Gleichung (β) ist $\frac{l}{f} = \frac{l-p}{p}$. Es sei l ein hinlänglich grosser Abstand, um p dagegen vernachlässigen zu können, so sieht man, dass das in diesem Abstande auf einem Schirm erzeugte Bild um so grösser ausfällt, je kleiner die Brennweite der angewendeten Linse.

In einem Falle kommt kein Bild zu Stande, das auf einem Schirme aufgefangen werden kann; dann nämlich, wenn der Gegenstand zwischen Linsenfläche und Brennweite aufgestellt wird.

Fig. 284.



Es ist schon früher gezeigt worden, dass die Strahlen in diesem Falle nicht convergirend gemacht, werden können. Da aber doch ihre Divergenz vermindert worden ist, so haben die von s (Fig. 284) ausgehenden Strahlen beim Austritt aus der Linse eine solche Richtung angenommen, als kämen sie von S her, die von t in der Nebenaxe to ausfahrenden scheinen vom Puncte T derselben Axe abzustammen. Es entsteht daher für ein bei a vor der Linse befindliches Auge, ein vergrössertes und aufrechtstehendes Bild ST in dem Abstande

$$f = \frac{lp}{p-l}, \text{ wenn } os = l.$$

Soll dieses Bild mit verschiedenen Linsen immer in demselben Abstande hervorgebracht werden, so findet man leicht, dass

auch für diesen Fall die vergrössernde Kraft einer Linse sich nahe umgekehrt wie ihre Brennweite verhält.

563. Zerstreuungslinsen. — Der Ausdruck $(n-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right)$ kann in drei Fällen negativ werden. Wenn die Radien r und r' beide negativ, d. h. wenn beide Oberflächen der Linse entgegengesetzt gekrümmt sind, wie bei der biconcaven Linse; wenn r negativ und r' unendlich gross ist, wie bei der planconcaven Linse; und endlich drittens wenn r negativ und r' zwar positiv aber grösser als r ist, wie bei der convex-concaven Linse. Für diese drei Linsensorten ist also p ein negativer Werth, daher

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{p} - \frac{1}{l} \text{ oder auch } f = \frac{pl}{l+p}$$

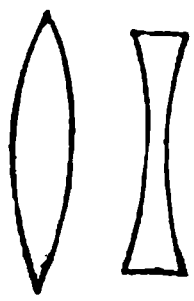
Das Verhalten der Zerstreuungslinsen ergibt sich hieraus sehr einfach. Die Vereinigungspuncte der Strahlen sind stets negativ, d. h. sie liegen auf der Seite der Linse, von welcher die Strahlen herkommen, und sind also nur scheinbar vorhanden; daher der Name: eingebildete (imaginäre) Brennpuncte. Der Abstand dieser Puncte von der Linse ist immer geringer als die Entfernung der Ausgangspuncte der Strahlen, denn welchen Werth man l beilegen mag, so findet man doch f immer kleiner als l. Die scheinbaren Bilder liegen demnach stets zwischen Gegenstand und Linse. Sie sind verkleinert und aufrecht stehend.

594. Die Bilder, welche man durch eine gewöhnliche Linse erhält, sind je nach der Stärke der Ablenkung, welche die Lichtstrahlen erfuhren, mehr oder weniger von Farben umsäumt. Es ist klar, dass die Linse gleich dem Prisma das gebrochne Licht in Farben zerstreuen muss.

Die blauen Strahlen, als die brechbarsten, durchkreuzen die Axe früher als die gelben und rothen. Man erhält daher für jeden durch die Linse gebrochnen Strahlenkegel anstatt eines Brennpunctes eine ganze Reihe hintereinander und folglich auch eine eben so grosse Anzahl hintereinander liegender ungleich grosser Bilder. Will man das zunächst an der Linsenfläche liegende blaue Bild auffangen, so sind die anders gefärbten Strahlen noch nicht zur Vereinigung gekommen. Fängt man das rothe Bild auf, so sind die blauen Strahlen bereits wieder auseinander gegangen. Obschon sich nun zwischen diesen beiden Gränzen eine Stelle der kleinsten chromatischen Abweichung nachweisen lässt, so kommen doch nirgends ganz farbenfreie Bilder zu Stande.

Man verbessert diese Unvollkommenheit durch Verbindung einer Sammellinse von Crownglas mit einer Zerstreuungslinse von Flintglas (Fig. 285), beide so geschliffen, dass sie gleiche Farben zerstreuende Kraft besitzen. Ein solches System, das bei richtiger Berechnung, wenn auch nicht ganz und gar die Farbenzerstreuung aufhebt (No. 559) doch ihren störenden Einfluss beseitigt, wird eine achromatische Linse genannt.

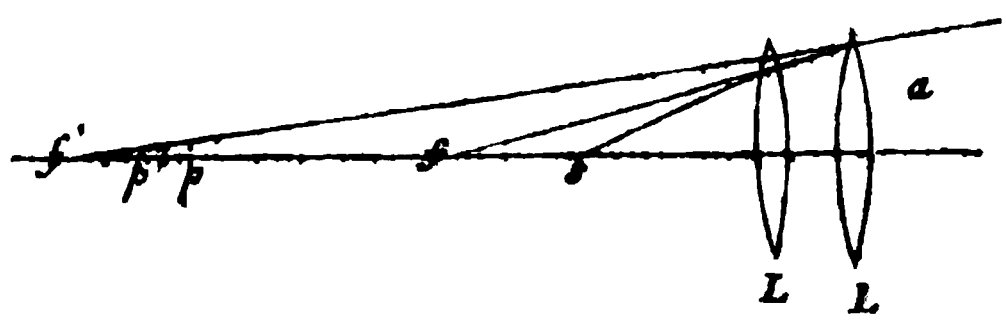
Fig. 285.



565. Eine zweite Mangelhaftigkeit der optischen Linsen beruht auf der sphärischen Gestalt ihrer Oberflächen. Die bisher erörterten Regeln zur Bestimmung der Lage der Bilder, beziehen sich auf Linsen von sehr schwacher Krümmung, oder bei stärker gekrümmten Oberflächen ausschliesslich nur für die Centralstrahlen. Strahlen, die entfernter von der Mitte gegen den Rand hin einfallen (Randstrahlen), werden zu stark gebrochen um mit den Centralstrahlen im Brennpuncte zusammentreffen zu können. Sie schneiden vielmehr früher die Axe, um so näher der Linsenfläche, je näher dem Rande derselben sie eingefallen waren. Indem sie sich dann wieder ausbreiten, bevor noch die Centralstrahlen zur Vereinigung kommen konnten, bilden sie um das durch die letzteren erzeugte helle Bild, Kreise von geringerer, nach Aussen hin abnehmender Lichtstärke, die sogenannten Abweichungskreise. Die hieraus entspringende Undeutlichkeit der Bilder nennt man die Abweichung wegen der Kugelgesalt (der Linsen). Um sie unschädlich zu machen, muss man die Linsen vom Rande aus gegen die Mitte so weit bedecken (blenden), als unumgänglich ist um Bilder von befriedigender Schärfe zu erhalten. Freilich vermindert sich mit dem gestatteten Oeffnungsdurchmesser der Linse zugleich auch das Feld über welches sich ihre Wirksamkeit erstreckt, so wie die Lichtstärke der Bilder. Dem Gebrauche sehr stark gewölbter und folglich stark vergrössernder Linsen, ist dadurch eine Gränze gesetzt. Vieles lässt sich indess hierbei durch richtige Auswahl und Stellung der Linsen gewinnen. Aus der Gleichung $\frac{1}{p} = (n-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}\right)$; (α, No. 561) ersieht man, dass ein und dieselbe Brennweite p für die Centralstrahlen, mit Linsen von sehr mannigfaltiger Krümmung erhalten werden kann, vorausgesetzt nur, dass die Summe $\frac{1}{r}+\frac{1}{r'}$ unverändert bleibt. Die sphärische Abweichung wird aber offenbar bei derjenigen Anordnung am geringsten sein, bei welcher die Ablenkung der Randstrahlen ihren kleinsten Werth hat, d. h. bei welcher der Aus- und Einfallswinkel des Strahls einander gleich sind (No. 554). Diess geschieht z. B. für parallel einfallende Strahlen, wenn die Krümmungsradien der Linse sich wie 1 zu θ verhalten, und wenn dann die stärker gekrümmte Fläche den einfallenden Strahlen dargeboten wird. Schief einfallenden Strahlen würde man um die kleinste Ablenkung der Randstrahlen zu erzielen, gerade die flacher gekrümmte Oberfläche einer Linse entgegensetzen müssen.

Das wirksamste Mittel die sphärische Abweichung zu verbessern, besteht darin, an der Stelle einer einzigen stark brechenden Linse, deren mehrere von schwächerer Krümmung aufeinander zu legen. Nach Gleichung $\frac{1}{p} = \frac{1}{f} + \frac{1}{l}$ (β, No. 561) ist für einen bestimmt angenommenen Werth von f oder l, das Verhältniss von f zu l, d. h. das Verhältniss der

Fig. 286.



Entfernungen des Gegenstandes und seines Bildes von der Linse durch die Brennweite p gegeben. Es seien L und L' (Fig. 286) zwei Linsen von grosser

Brennweite, also sehr mässiger Krümmung, für welche obige Gleichung Geltung hat; p und p' ihre Brennpuncte. Der Ausgangspunct der Strahlen mag bei s, zwischen der ersten Linse und ihrem Brennpuncte liegen. Durch die Brechung in der ersten Linse werden die Strahlen so geleitet, als kämen sie von f her. f ist daher ihr scheinbarer Ausgangspunct beziehungsweise zur zweiten Linse, in welcher sie dann so abgelenkt werden, dass sie für ein bei a befindliches Auge vom Puncte f' abzustammen scheinen. Setzt man demnach für die erste Linse $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{l}$, so ist für die zweite, unter der Voraussetzung der Zeichnung, dass l kleiner als p, folglich f negativ:

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{f} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p} - \frac{1}{l};$$

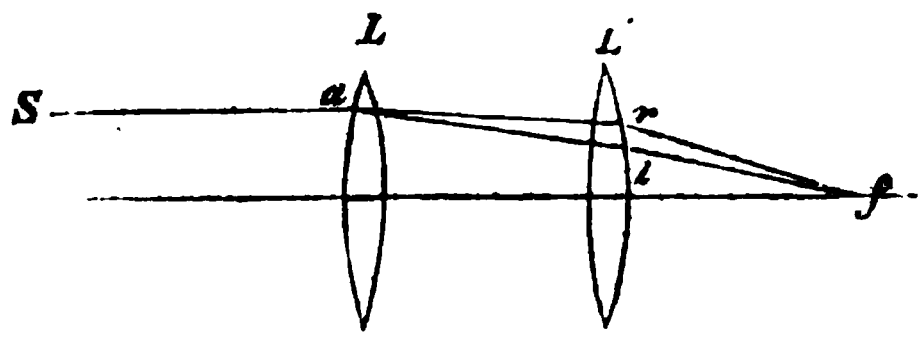
$$\text{also } \frac{1}{f'} + \frac{1}{l} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{P}$$

Aus diesem Resultate ist ersichtlich, dass wenn P die Brennweite einer stark gekrümmten Linse vorstellt, und f' den Abstand des Bildes für eine gegebene Entfernung l des Gegenstandes bedeutet, dasselbe Verhältniss f' zu l auch durch mehrere aufeinander liegende Linsen erhalten werden kann, unter der Bedingung, dass $\frac{1}{P} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} + \frac{1}{p''} + \ldots$ Im letzteren Falle erreicht man aber den Vortheil, dass ohne die Zerstreuungskreise zu verstärken, ein grösserer Oeffnungsdurchmesser genommen werden darf. Ein Theil des erzielten Lichtgewinnes geht allerdings durch die wiederholten Reflexionen an den Oberflächen der Linsen wieder verloren.

566. Durch geeignete Auswahl und Verbindung zweier Linsen von Crownglas ist es gelungen, die Wirkung einer einzigen Linse von viel kürzerer Brennweite zu erhalten und doch zugleich neben der sphärischen auch die chromatische Abweichung grösstentheils aufzuheben. Eine solche Combination heisst eine aplanatische Linse.

Es sei Sa (Fig. 287) ein auf der ersten Linse L einfallender und durch die Brechung in seine Bestandtheile zerlegter Strahl. Der rothe Strahl, als der weniger brechbare, nimmt den Weg ar, der blaue den Weg al. Er-

Fig. 287.



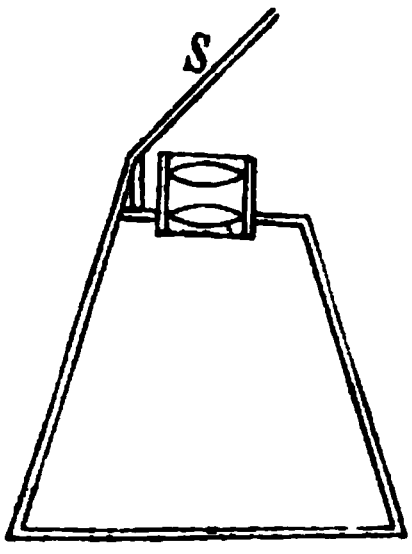
sterer erreicht daher die zweite Linse L' an einer ihrem Rande näher liegenden Stelle und kann folglich bei richtigem Abstande beider Linsen so gebrochen werden, dass er mit dem blauen Strahle in dem Puncte f der Axe zusammentrifft.

Die gewöhnliche achromatische Linse ist bei kurzer Brennweite nicht frei von der sphärischen Abweichung. In Fällen wo man einer kurzen Brennweite und doch zugleich auch einer grossen Oeffnungsweite der Linse bedarf, bietet sich daher die beschriebene Linsenverbindung als ein sehr nützliches Auskunftsmittel.

Vom menschlichen Auge und den dioptrischen Instrumenten.

567. Die dunkle Kammer (camera obscura). — Durch enge Oeffnungen bekommt man, wie früher (No. 543) erklärt wurde, verkehrt stehende Bilder äusserer Gegenstände, die jedoch nur geringe Lichtstärke besitzen und bei zunehmender Weite der Oeffnung undeutlich werden. Die Benutzung der Sammellinse gestattet weitere Oeffnungen, also grössere Helligkeit, ohne dass die Richtung des Hauptstrahls, in welcher jeder äussere Punct hinter der Oeffnung ein Bild erzeugt, geändert wird. Nur ist jetzt, je nach der Wahl der Linse, die Stelle hinter der Oeffnung bestimmt, auf welcher ein deutliches Bild erscheinen kann. Diese Stelle ist für alle Gegenstände, welche um mehr als die 20fache Brennweite von der Linse entfernt liegen, fast gleich (No. 561). Für nähere Gegenstände muss der Schirm, auf welchem das Bild aufgefangen werden soll, mehr und mehr von der Linse abgerückt werden, oder wenn der Schirm unbeweglich ist, muss die Linse verschiebbar sein. Um die dunkle Kammer mit Bequemlichkeit zum Nachzeichnen entfernter Gegenstände benutzen zu können, wird die Linse in passendem Abstande über einem Tische angebracht, und ausserhalb des dunklen Raumes ein Spiegel S (Fig. 288) so aufgestellt, dass er das Licht senkrecht gegen die Linse wirft. Durch die Erfindung der Photographie ist das Bedürfniss entstanden, camera obscura Bilder von vollkommenster Schärfe und möglichst grosser Lichtstärke hervorbringen zu können.

Fig. 288.



Linsenverbindungen von ausgezeichneter Wirksamkeit werden zu diesem Zwecke von Voigtländer in Wien nach einer Angabe von Petzval verfertigt.

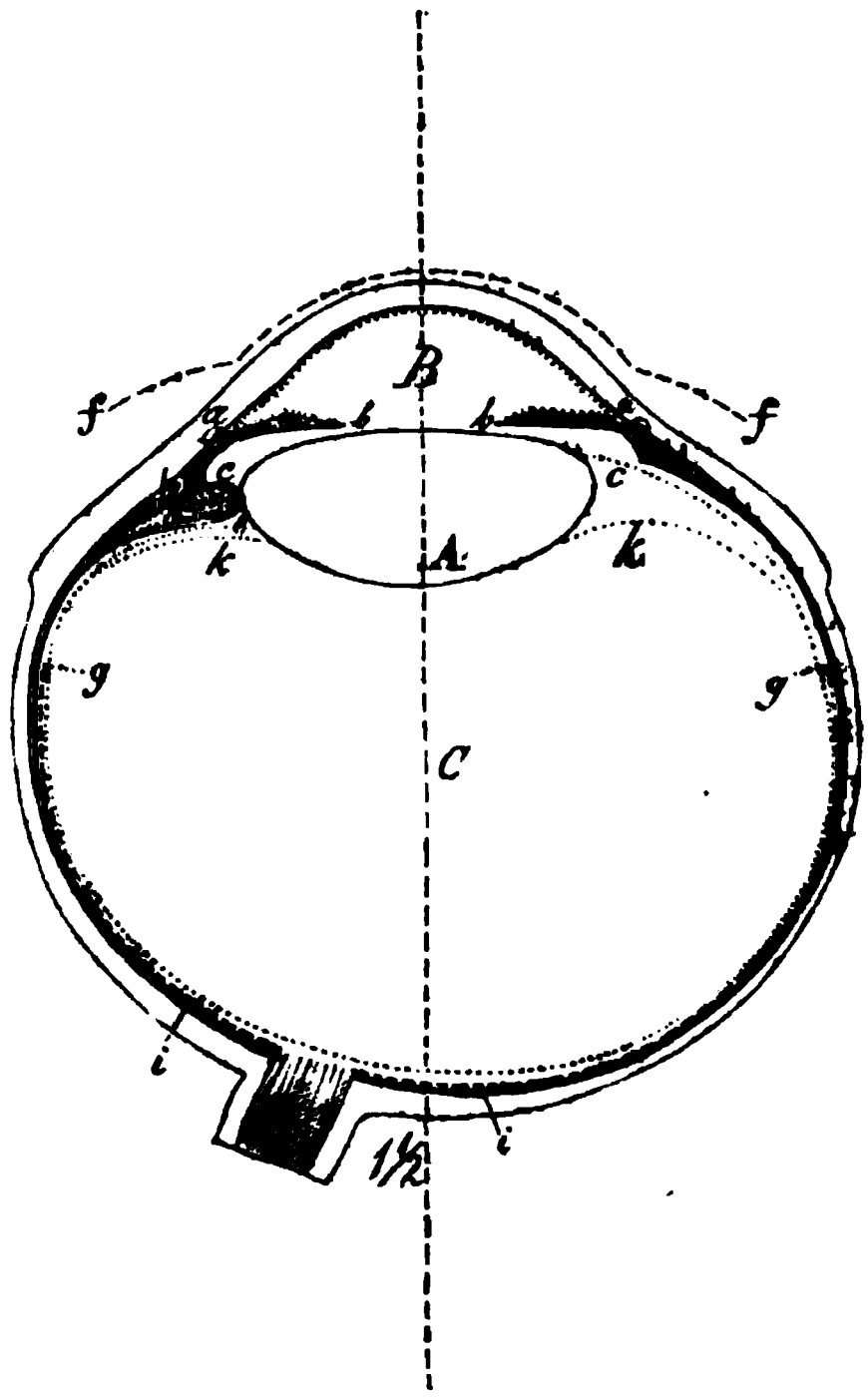
568. Das Auge als optische Geräthschaft. — Das Auge in seiner Beziehung als optisches Werkzeug gleicht einer Camera obscura (No. 544), in welcher Schärfe und Helligkeit der Bilder durch ein in grosser Vollkommenheit ausgebildetes Linsensystem, bestehend aus der Hornhautkrümmung und dreien, das innere Auge ausfüllenden, sehr durchsichtigen, theils flüssigen, theils halbflüssigen Medien bewirkt wird.

Der Augapfel, annähernd kugelförmig, an der hinteren Fläche etwas abgeplattet, mit stärkerer Wölbung an dem durch-

sichtigen Theil der vorderen Fläche, liegt in seiner knöchernen mit Fett ausgepolsterten Höhle, umgeben von Muskeln, welche ihm innerhalb eines mässigen Spielraums, eine sehr grosse Beweglichkeit nach allen Richtungen ertheilen.

Man hat gefunden, dass diese Bewegungen um einen unbeweglichen Punct *C*, nahe in der Mitte des Augapfels, den Drehpunct geschehen (Fig. 289).

Fig. 289.



Die äussere Umkleidung des Augapfels besteht aus einer weissen, lederartigen, sehr elastischen Haut von etwa ½ Linie Dicke, der harten Haut (sclerotica), deren vorderer, stärker gewölbter Theil durchsichtig ist und den Namen Hornhaut (cornea) erhalten hat. Die Dicke der letzteren beträgt in der Mitte gewöhnlich unter einer halben Linie, verstärkt sich aber nach dem Rande hin. Die Krümmung ihrer Vorderfläche scheint sich der elliptischen zu nähern, ist aber noch nicht genau bekannt.

Eine gerade Linie, von der Mitte der Hornhaut zur Mitte der hinteren Wölbung der harten Haut gezogen, wird die Augenaxe

oder Sehaxe genannt. Sie bildet die optische Axe des Linsensystems und enthält auch den Drehpunct des Auges. Etwas seitwärts von dieser Linie gegen die Nase hin, dringt ein Nervenstrang, der Sehnerv, durch die hintere Fläche der harten Haut in das innere Auge und vermittelt dessen Verbindung mit dem Gehirn. Der Abstand vom Mittelpuncte der Einsenkung des Sehnervs zum Fusspuncte der Sehaxe beträgt ungefähr $1\frac{1}{2}$ Linie.

Die ganze Innenfläche der sclerotica bis zum Rande der Hornhaut ist mit einer an Blutgefässen sehr reichen Haut, der Aderhaut (chorioidea) überzogen. Diese geht am vordern Ende in die Regenbogenhaut (iris) über, welche sich hinter der Hornhaut quer durch das Auge zieht und nur in der Mitte eine kleine Oeffnung, die Pupille (das Lichtloch), von $1\frac{1}{2}$ Linien mittlerer Weite lässt.

Unmittelbar vor ihrem Uebergange in die Iris verdickt sich die Aderhaut zu einem ringförmigen Wulste, welcher Ciliarkörper genannt wird. Sein vorderer Theil, das Ciliarband, weiss und faltenlos, vermittelt einen genauen Zusammenhang der Aderhaut mit der harten Haut und dem Rande der Hornhaut. Der nach Innen gewendete Theil, der eigentliche Ciliarkörper ist vielfach gefaltet und schwarz. Ein Kreis strahlenförmig aus ihm vorspringender Falten, die Ciliarfortsätze (processus ciliares) erstrecken sich bis zur Krystalllinse, deren Rand sie einfassen.

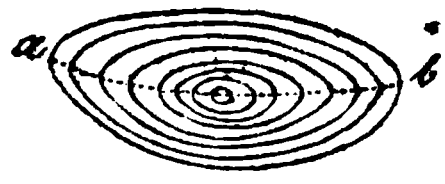
Die Aderhaut sammt dem inneren Theile des Ciliarkörpers und dessen Fortsätzen ist mit einem dunkelbraunen, fast schwarzen Farbstoffe bedeckt und durchtränkt. Derselbe Farbstoff überzieht auch die hintere Fläche der Iris bis zum Pupillenrande und verhindert so den Eintritt alles störenden Lichtes.

Auf der Innenseite der Aderhaut und gleichsam in das Schwarz derselben eingetaucht, breitet sich der Sehnerv als eine feine Nervenhaut, die Netzhaut (retina), aus. Nach vorn erstreckt sie sich bis zum Ciliarkörper, mit dem sie verwachsen ist.

Ihre Dicke beträgt am grössten Theile ihrer hinteren Ausdehnung $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{10}$ Linie. Gerade da, wo sie von der Axe durchsetzt ist, befindet sich ein gelber Fleck von 1 Linie Durchmesser. Es ist ihr empfindlichster Theil, und hier erzeugen sich die schärfsten Bilder.

Die Krystalllinse (*A*) mit der sie einschliessenden glasartigen Linsencapsel gleicht einer doppelt convexen optischen Glaslinse. Sie sitzt nahe hinter der Pupille und besteht aus glashellen Fasern, welche Schichten bilden, die bei zunehmender Festigkeit nach Innen, einander so umgeben, dass sich die Inneren, gegen den Kern hin, mehr und mehr der Kugelgestalt nähern (Fig. 290). Ein Durchschnitt der

Fig. 290.



vorderen flachen Oberfläche schliesst sich unter den Kegelschnitten am nächsten einer Ellipse an; die mehr gewölbte Hinterfläche nähert sich der Parabel*). Die Linse ist so gestellt, dass ihre optische Hauptsaxe mit der Sehaxe zusammenfällt. Sie scheidet den inneren durchsichtigen Theil des Augapfels in zwei Abtheilungen von sehr ungleicher Grösse. Der grössere hintere Raum ist von der Glasfeuchtigkeit ausgefüllt, der viel kleinere vordere Raum zwischen Hornhaut und Linse und auf beiden Seiten der Pupille enthält die wässerige Flüssigkeit. Die letztere ist dünnflüssig; die Glasfeuchtigkeit dagegen, weil sie von einem sehr durchsichtigen Zellgewebe durchsetzt und von der gleich durchsichtigen Glashaut eingeschlossen ist, zeigt einen gallertartigen Zusammenhang. Die Glashaut ist mit der Netzhaut an den Ciliarkörper angewachsen; in einer Vertiefung derselben sitzt die Linsenkapsel fest.

Die Linse, wie die beiden Augenflüssigkeiten, bestehen ihrer chemischen Beschaffenheit nach fast nur aus Wasser. Auch unterscheiden sich die Brechungsexponenten der beiden letzteren kaum von der des Wassers. Man findet:

Für das reine Wasser $n = 1{,}335$,
für die wässrige Feuchtigkeit $n = 1{,}337$,
für die Glasfeuchtigkeit $n = 1{,}339$.

Das Brechungsverhältniss der Linse nimmt von den äusseren zu den inneren Schichten merklich zu. Man hat gefunden:

für die äussersten Schichten, $n = 1{,}357$,
für die mittleren Schichten, $n = 1{,}387$,
für die innersten Schichten, oder den Kern, $n = 1{,}407$.
Als Mittel aller Schichten, $n = 1{,}384$.

Dieser Mittelwerth entspricht jedoch keineswegs der ablenkenden Kraft der Linse, auf die in der Umgebung ihrer Axe durchfallenden Strahlen. Diese Kraft ist vielmehr nicht unbedeutend grösser, weil die inneren Theile der Linse nicht bloss durch vermehrte brechende Kraft, sondern durch die zunehmende Krümmung, die Ablenkung vermehren. Senff, der auf diesen Umstand zuerst die Aufmerksamkeit lenkte, fand die durch eine Ochsenlinse bewirkte Ablenkung, wenn man den Stoff der Linse, zur Bequemlichkeit der Rechnung, als ein Mittel von gleichartiger brechender Kraft betrachtet, dem Brechungsexponenten $n' = 1{,}539$ entsprechend. Unter derselben Voraussetzung hat Listing in einer Abhandlung über den Gang der Lichtstrahlen im menschlichen Auge (Handwörterbuch der Physiologie von R. Wagner IV. 451.) $n = 1{,}456$ angenommen.

Das Brechungsverhältniss der Hornhaut ist, so viel man weiss, von dem der wässrigen Feuchtigkeit nicht merklich verschieden. Die in das Auge dringenden Lichtstrahlen erleiden daher, bevor sie die Netzhaut erreichen können, wesentlich drei Ablenkungen; die erste und stärkste an der Vorderfläche der Hornhaut, die zweite und dritte an der Vorder- und Hinterfläche der Linse. Die beiden letzten sind jedoch von geringerer Bedeutung als die erste; denn da die Linse auf beiden Seiten von Mitteln von nicht sehr viel geringerer brechender Kraft umgeben ist, so entspricht die optische Wirksamkeit ihres Stoffes nur dem Quotienten $\frac{n'}{n} = \frac{1{,}456}{1{,}337} = 1{,}089$ (No. 555.):

*) Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels von Ernst Brücke.

Es scheint hiernach, dass die Anordnung der Linse hauptsächlich die Aufhebung der sphärischen Abweichung bezweckt; worauf überdiess auch ihre ganze innere Structur hinzielt. Vielleicht hat sie aber auch mit die Bestimmung, in ähnlicher Weise, wie es bei aplanatischen Linsen geschieht, auf die Beseitigung der chromatischen Abweichung hinzuwirken. Denn zu diesem Zwecke ist in dem Auge kein anderes Hülfsmittel vorgesehen, und doch leidet es keinen Zweifel, dass die Lichtstrahlen beim Eingang in die Hornhaut die Farbenzerstreuung erfahren.

Bezüglich der linearen Verhältnisse des Auges haben die folgenden Abmessungen das meiste Interesse für die optische Frage.

	Par. Linien:
Krümmungsradius der Vorderfläche der Hornhaut in der Umgebung der Axe	$r = 3{,}54$.
Krümmungsradius der Vorderfläche der Linse, in der Axe	$r' = 4{,}43$.
Krümmungsradius der Hinterfläche der Linse in der Axe	$r'' = 2{,}66$.
Dicke der Linse in der Axe	2,10.
Abstand des gelben Flecks von der Vorderfläche der Hornhaut	10,20.
Abstand der Hinterfläche der Linse von der Vorderfläche der Hornhaut	4,40.
Abstand des Drehpunctes von der Vorderfläche der Hornhaut	5,60.
Abstand des Mittelpunctes der Pupille von der Vorderfläche der Hornhaut	1,16.
Abstand des Mittelpunctes der Pupille von der Vorderfläche der Linse	0,12.
Geradlinigte Entfernung der Drehpuncte beider Augen	$30'''$.

Lichtstrahlen, welche auf der Hornhaut senkrecht auffallen, würden in einem nur mit gleichartiger Flüssigkeit gefüllten Auge ungebrochen bis zur Netzhaut gelangen, und sich im Krümmungsmittelpuncte der Hornhaut kreuzen. Dieser Punct würde dann der optische Mittelpunct sein.

Durch die Wirkung der Linse wird derselbe der vordern Seite des Auges etwas näher nach o gerückt und liegt demnach der Hornhaut näher als ihr Krümmungsmittelpunct. Listing, indem er $r = 3{,}545'''$; $r' = 4{,}43'''$ und $r'' = 2{,}66'''$ setzte, fand die Entfernung des optischen Mittelpunctes von der Hornhaut = 3,31 Linien.

Für dasselbe Auge lag der innere Brennpunct, oder diejenige Stelle, in welcher parallel einfallende Strahlen zusammentreffen, 10 Linien von der Vorderfläche der Hornhaut entfernt. Der Abstand des äussern Brennpunctes oder desjenigen Punctes, von welchem ausgehend die Lichtstrahlen nach der Brechung parallel auf die Netzhaut gelangen, betrug 5,69 Linien.

Die Netzhaut in ihrem ganzen Umfange empfängt und empfindet die Lichteindrücke, deren Quelle wir aber nicht in den verschiedenen Richtungen, in welchen die von einem Puncte ausgehenden Lichtstrahlen die Netzhaut treffen, sondern nur in der Richtung des Hauptstrahls oder in der geraden Linie von dem Einfallspuncte durch den optischen Mittelpunct nach Aussen aufsuchen (No. 544). Wegen der hervorspringenden Wölbung der Hornhaut können selbst sehr schief einfallende Strahlen in das innere Auge gelangen. Das Sehfeld unserer Augen erhält da-

durch reichlich den Umfang einer Halbkugel. Aber nicht an allen Stellen der Netzhaut können scharfe Bilder zu Stande kommen. Wollen wir einen Gegenstand deutlich sehen, so richten wir stets den Blick, d. h. die Augenaxe gegen denselben, so dass sein Bild in den Fusspunct dieser Axe, in den gelben Fleck fallen muss. Beim Lesen z. B. lassen wir den Blick über die Zeilen gleiten und richten denselben nach und nach auf jede Sylbe, ja auf jeden einzelnen Buchstaben. Hält man aber die Axe auf einem Buchstaben fest, so überzeugt man sich sogleich, dass fast ausschliesslich auch nur dieser einzige augenblicklich deutlich gesehen werden kann. Das Feld des deutlichen Sehens ist also ausserordentlich klein. Um dem Auge einen möglichst grossen Umfang des Sehfeldes sichern zu können, ist auf dem grössten Theile dieses Umfanges die Deutlichkeit geopfert; dafür hat ihm aber die Natur als reichlichen Ersatz die Fähigkeit verliehen, die Sehaxe mit Schnelligkeit auf diejenigen Puncte richten zu können, auf welchen gerade der Gedanke verweilt. Hauptsächlich für solches Licht, welches aus einem Puncte der Axe kommt, vertritt die Iris die Stelle einer Blendung, indem sie die schief einfallenden Strahlen auslöscht und dadurch verhindert in das Innere des Auges zu gelangen.

Aber auch die Axenstrahlen können nicht aus allen Entfernungen deutliche Bilder auf die Netzhaut werfen. Ein vollkommen gesundes Auge kann Geschriebenes innerhalb der Gränze von 8 bis höchstens 15 Zoll gewöhnlich am deutlichsten lesen. Rückt man das Papier näher an das Auge, so verwischt sich mehr und mehr die Schärfe der Linien und bald erhält man, selbst bei der grössten Anstrengung keine begränzten Bilder mehr.

Diese Erfahrungen entsprechen ganz dem früher bewiesenen Satze, dass die durch Linsen erzeugten Bilder, von dem optischen Mittelpuncte fortrücken, wenn der Gegenstand sich nähert und umgekehrt. Unter der Voraussetzung, dass der Brennpunct eines Auges 10 Linien hinter der Hornhaut liegt, werden sehr entlegene Gegenstände sich nur dann ganz scharf auf der Netzhaut abzeichnen können, wenn diese ebenfalls nicht mehr als 10 Linien von der Hornhaut absteht. Ist die Entfernung grösser, so können nur näher liegende Gegenstände deutliche Bilder hervorbringen. Befindet sich der gelbe Fleck z. B. 0,7 Linien hinter dem Brennpuncte, so werden sich solche Lichtstrahlen, die aus 8 Zoll Abstande und aus der nächsten Umgebung der Axe kommen, zu einem reinen Bilde, gerade auf dem empfindenden Organ sammeln. Kommen aber die Strahlen aus einem nähern Puncte, so würden sie erst hinter der Netzhaut zusammentreffen können. Liegt ihr Ausgangspunct weiter entfernt, so vereinigen sie sich zu früh und sind beim Eintreffen auf der Netzhaut bereits wieder auseinander gegangen. In beiden Fällen müsste von den, von einem Puncte

der Axe ausfahrenden Strahlen nicht ein Punct, sondern ein Flächenstück der Netzhaut beleuchtet werden. Hieraus erklärt sich vollkommen, warum Gegenstände, welche dem Auge zu nahe liegen, nicht mehr deutlich sichtbar sind. Aber die Erfahrung lehrt, dass das deutliche Sehen keineswegs auf eine Stelle beschränkt ist, sondern nur bei einer gewissen, bei verschiedenen Augen nicht ganz gleichen Stelle, eine Gränze hat. Gesetzt z. B. diese Gränze sei, wie es der gewöhnliche Fall ist, 8 Zoll, so wird das gesunde Auge nicht blos in diesem Abstande, sondern auch in 12 Zoll, in 24 Zoll und häufig selbst noch in grösserer Entfernung bequem lesen können, ungeachtet doch z. B. die von einem Puncte, der 2 Fuss vor dem Auge liegt, herkommenden Strahlen sich schon in 0,2 Linien Entfernung hinter dem Brennpuncte vereinigen müssen. Aus dieser Fähigkeit des Auges, aus verschiedenen Abständen deutlich zu sehen, hat man die Folgerung gezogen, dass es das Vermögen besitzen müsse, sich den Abständen anzupassen; ein Schluss, der überdiess noch durch die andere Erfahrung bestätigt wird, dass es unmöglich ist, zwei in der Sehaxe ziemlich weit hintereinander befindliche kleine Gegenstände, gleichzeitig deutlich sehen zu können. Man hat das Anpassungs-Vermögen (die Accommodation) auf drei, möglicher Weise von der Herrschaft des Willens abhängige Veränderungen im Zustande des Auges zurückzuführen gesucht. Sie sind: 1) ein Zurückweichen der Netzhaut, bewirkt durch seitliches Zusammendrücken des Augapfels; 2) ein Vorschieben der Linse gegen die Hornhaut und in Folge davon, ein Vorrücken des optischen Mittelpunctes; 3) Verengerung und Erweiterung der Pupille.

Aus den vorhererwähnten Beispielen ist leicht zu ersehen, dass Schwankungen im Abstande des gelben Fleckes vom Kreuzungspuncte der Hauptstrahlen, von wenig mehr als einer halben Linie, die aber dem Willen unterworfen wären, für das Bedürfniss der Accommodation ausreichen würden. Aber selbst für so kleine Aenderungen fehlt es bis jetzt an einem ganz sichern Nachweise der sie bedingenden Muskelthätigkeit. Die Veränderungen in der Weite der Pupille dagegen kennt jedermann. Man weiss, dass sie sich im Dunkeln sehr erweitert, aber auch bei blendendem Lichte auf einen äusserst geringen Umfang zusammenzieht. Bei genauerer Beobachtung hat man ferner bemerkt, dass das Lichtloch allemal grösser wird, wenn man den Blick auf einen entfernten Punct richtet, dagegen sich verengert, sobald man einen ganz nahen Gegenstand ansieht. Um die Bedeutung dieser Aenderungen richtig beurtheilen zu können, halte man einen kleinen Gegenstand so nahe vor das Auge, dass seine Umrisse verschwimmen. Man betrachte ihn dann in derselben Nähe durch eine enge Oeffnung in einem Kartenblatt, man wird jetzt ein zwar sehr lichtschwaches aber deutliches Bild erhalten. Offenbar haben sich die von einem

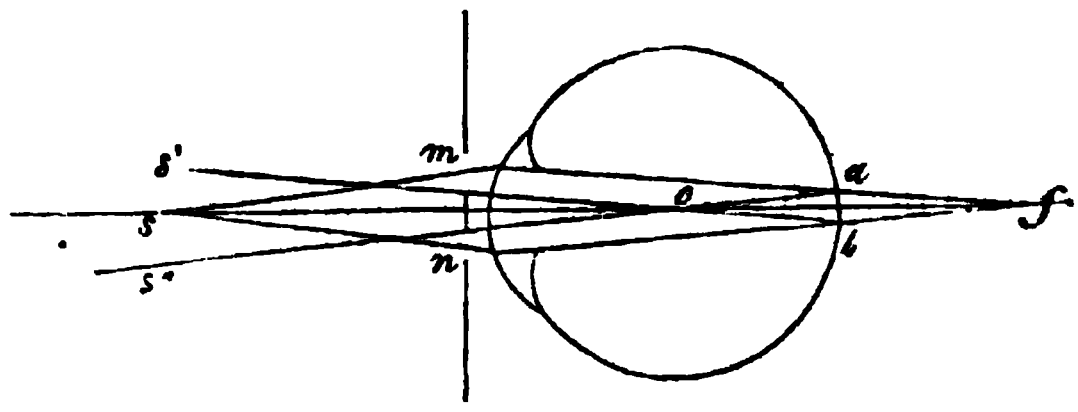
Puncte diesseits der deutlichen Sehweite ausgegangenen Strahlen auf der Netzhaut noch nicht in einem Puncte wieder vereinigen können. Doch ist die Stelle, welche sie treffen, in der Mitte am stärksten erhellt, während sich nach dem Rande hin mattere Lichtkreise, die sogenannten Zerstreuungskreise, befinden, durch die künstliche Verengerung der Pupille mit Hülfe des Kartenblatts wurde die Breite des einfallenden Lichtkegels und folglich auch die Grösse des beleuchteten Flecks auf der Netzhaut vermindert, die Umrisse des Bildes konnten daher deutlicher hervortreten.

Man denke sich nun ein Auge im natürlichen Zustande auf das deutliche Sehen in der Entfernung von etwa 12 — 18 Zoll angepasst, so wird dasselbe Auge auch noch in etwas geringerer, z. B. in 8 Zoll Entfernung, allein schon durch Verengerung der Pupille, deutliche Bilder gewinnen. Ein Auge, das in zwei Fuss Abstand gut sieht, bedarf auf weiterhin keiner besonderen Accommodation, weil in diesem Falle die Netzhaut dem Brennpuncte so nahe gerückt ist, dass die durch einen entlegeneren Punct bewirkten, gewöhnlich sehr lichtschwachen Zerstreuungskreise nicht mehr empfunden werden.

Die Wirkung der Zerstreuungskreise lässt sich durch den folgenden, nach dem Pater Scheiner benannten, lehrreichen Versuch sehr anschaulich machen. Man steche in ein Kartenblatt mit einer Nadel zwei Löcher, ungefähr auf 1 Linie Abstand neben einander, und betrachte durch dieselben mit dem einen Auge, während das andere geschlossen ist, in der Entfernung der deutlichen Sehweite, eine Nadelspitze, man wird sie einfach sehen, ganz so wie mit freiem Auge. So wie man sie aber näher rückt oder beträchtlich entfernt, erscheint ein doppeltes, lichtschwaches Bild. Verdeckt man das eine Loch, z. B. das zur Rechten, durch Vorschieben eines scharf abgeschnittenen Papiers, so verschwindet das eine Bild und zwar im ersten Falle, wenn die Nadel diesseits der deutlichen Sehweite gehalten wird, das linke, im andern Falle das rechte.

Es sei *o* (Fig. 291) der optische Mittelpunct des Auges, *s* die

Fig. 291.



betrachtete Nadelspitze; das von ihr aus durch die Oeffnungen *m* und *n* des Kartenblattes einfallende Licht würde sich erst in *f* wie-

der vereinigen können, und trifft daher die Netzhaut in *a* und *b* an zwei von einander getrennten Stellen, obschon innerhalb des Umfangs der Zerstreuungskreise, die sich bei Entfernung des Kartenblatts erzeugen müssten. So entsteht der Eindruck von zwei Bildern, von welchen das eine in der Richtung der Linie *bo* durch den optischen Mittelpunct, also in *s'*, das andere in der Richtung der Linie *ao*, also in *s''* aufgesucht wird. Es ist nun leicht zu verstehen, warum durch Bedecken der Oeffnung *m* nicht das Bild *s'*, sondern *s''* verschwinden muss. Auch begreift man, warum gerade das Umgekehrte eintritt, wenn das Licht von einem entlegeneren Puncte einfiel, und die Strahlen ihren Vereinigungspunct bereits vor der Netzhaut gefunden hatten.

Der Scheiner'sche Versuch lässt sich als ein sehr scharfes Prüfungsmittel des Anpassungsvermögens benutzen. Man halte zwei Nadeln vor einander, die eine in der Gränze der deutlichen Sehweite, die andere im doppelten oder dreifachen Abstande, und richte das Auge so, dass beide Nadeln fast in die Axenlinie fallen. Betrachtet man dann die nähere durch die Oeffnungen des Kartenblattes, so muss sie einfach, dagegen die entferntere doppelt erscheinen, blickt man hierauf die entferntere an, so muss sich diese einfach, aber die nähere doppelt zeigen. Da bei diesem Versuche die Mitwirkung der Pupille ganz ausgeschlossen ist, so kann er auch nur solchen Personen gelingen, welche ein von den Veränderungen der Pupille unabhängiges Anpassungsvermögen besitzen. Der Verfasser gehört nicht zu diesen und kann daher das Gelingen aus eigner Anschauung nicht verbürgen.

Bei vielen Personen, insbesondere bei vorgerückten Jahren, liegt der Brennpunct im gelben Flecke oder selbst noch darüber hinaus, so dass nahe Gegenstände keine deutliche Bilder auf der Netzhaut hervorbringen können. Es ist nun leicht zu sehen, warum diesem Fehler, der Weitsichtigkeit, durch eine passend ausgewählte Sammellinse, ein convexes Brillenglas abgeholfen werden kann. Der entgegengesetzte Fehler, die Kurzsichtigkeit, entsteht, wenn die von entfernten Gegenständen ausgesendeten Strahlen ihre Vereinigungspuncte schon vor der Netzhaut finden. Eine geeignete Zerstreuungslinse vor das Auge gehalten, vermindert die Convergenz der Strahlen, und bringt dadurch die Vereinigungspuncte auf die Netzhaut.

Gegenstände welche über die deutliche Sehweite hinaus liegen, erzeugen gewöhnlich, auch in dem gesundesten Auge, keine ganz scharfen Bilder; allein die Zerstreuungskreise sind, wie schon bemerkt wurde, von geringem Umfange und dabei gewöhnlich lichtschwach. Sie bringen daher keinen Schaden. Stammt jedoch das Licht von sehr glänzenden Lichtquellen ab, so wird begreiflich auch der Einfluss der Zerstreuungskreise fühlbarer. Von

zwei gleich grossen ungleich beleuchteten Flächen, hält man daher, aus der Ferne gesehen, die hellere gewöhnlich auch für die grössere. So scheint die Sichel des ersten Mond-Viertels über den schwach sichtbaren übrigen Mondkörper hervorzuragen. Eine Reihe von Lichtflammen vermischen sich, aus der Entfernung gesehen, mehr und mehr in eine zusammenhängende Lichtlinie. Man nennt diese Erscheinung Irradiation. Sie wird um so weniger auffallend, je genauer die Bilder auf die Netzhaut fallen.

Das Auge vermag die von einem beliebigen Lichtpuncte ausgehenden Strahlen, auch bei der besten Accommodation, wahrscheinlich niemals absolut in einem mathematischen Puncte zu sammeln. Daraus folgt dann von selbst, warum die Schärfe des Sehens in allen Fällen begränzt ist. Erfahrungsmässig hört unsere Fähigkeit, die Gestalt eines Körpers zu unterscheiden, auf, wenn uns derselbe, gleichgültig in welcher Entfernung, unter einem Sehwinkel von weniger als ½ Minute erscheint. Uebrigens können Gegenstände noch unter viel kleinerem Gesichtswinkel gesehen werden. Dies hängt von dem Glanze ihres Lichtes ab.

Lebhafte Lichteinwirkungen, die längere Zeit dauerten, scheinen das Auge gegen gleichartige aber schwächere Eindrücke abzustumpfen, ohne dass es darum seine Empfänglichkeit gegen andere Lichteindrücke verliert. Blickt man z. B. eine glänzend weisse Fläche, auf welche ein schwarzes Kreuz aufgetragen ist, einige Zeit scharf an, und wendet dann das Auge gegen eine dunkle Wand, so prägt sich auf derselben Stelle der Netzhaut eine schwarze Fläche mit weissem Kreuze aus. Hat man längere Zeit eine grüne Scheibe von lebhafter Färbung angesehen und richtet dann das Auge gegen eine weisse Wolke oder ein weisses Papier, so glaubt man darauf eine rothe Scheibe zu erblicken. Weil nämlich das Auge gegen die grüne Farbe abgestumpft war, so erhält ihre Complementärfarbe zu Weiss das Uebergewicht.

Eine andere Gattung subjectiver Farbenerscheinungen bilden die sogenannten Contrastfarben. Schneidet man von ein und demselben grünen Papiere drei Stücke ab, legt dann das eine auf eine rothe Fläche, das andere auf eine blaue, das dritte auf eine gelbe, so macht nur das erste den Eindruck seiner natürlichen Färbung, das zweite scheint einen starken Zusatz von gelb, das dritte einer Zusatz von blau erhalten zu haben. Bei jedem Streifen tritt nämlich derjenige Farbenton, durch welchen er sich von der Umgebung unterscheidet, am lebhaftesten hervor. Aus demselben Grunde erhält Violett auf blauer Unterlage einen Stich ins Rothe; Orange auf Roth neigt sich zu gelb; grau auf schwarz erscheint weiss. Dahin gehören die blauen Schatten, welche die roth-gelbe Kerzenflamme in der Morgen- und Abenddämmerung bildet. Die Kenntniss von dem Einflusse der Contrastfarben ist von Wichtigkeit in der Färberei und überhaupt in allen Fällen, wo es sich darum handelt, verschiedene Farbentinten auf die entsprechendste Weise zu combiniren.

Wir gebrauchen beim Sehen beide Augen zugleich. Dass wir gleichwohl die vor uns liegenden Gegenstände gewöhnlich nur einfach erblicken, erklärt sich daraus, weil nicht die Empfindung der Netzhaut, sondern das Sehfeld zum Bewusstsein gelangt.

Wir übertragen jeden Lichteindruck sogleich nach Aussen, zu seiner Quelle; hatte sich derselbe in beiden Augen an entsprechenden Stellen ausgeprägt, in beiden z. B. im gelben Flecke, oder in beiden in demselben Abstande rechts oder links von der Axe, so wird uns die Richtung, in der wir seinen Ursprung aufsuchen, aus beiden Augen nach demselben Puncte des Raumes führen. Beide Eindrücke, wenn sie an und für sich gleichartig waren, müssen sich daher zu einem gemeinschaftlichen ergänzen.

In der That kann man sich leicht durch den Versuch überzeugen, dass das Einfachsehen wesentlich auf der Bedingung beruht, dass gleichartige Eindrücke von entsprechenden Stellen beider Licht-Empfindungsorgane zum Bewusstsein kommen. Denn wenn man die Sache so anordnet, dass das Bild eines Gegenstandes in beiden Augen an solchen Stellen der Netzhaut zum Vorschein kommt, die einander nicht entsprechen, so sieht man doppelt.

Man halte z. B. die beiden Zeigefinger in ungleichen Abständen vor die Augen, richte aber den Blick nur auf den einen, man wird den andern doppelt erblicken. Denn indem man die Sehaxen auf den einen, es sei der Nähere, richtet, erscheint das Bild des Entfernteren im linken Auge rechts, im rechten links von der Axe; beide Eindrücke, obschon gleichartig, lassen sich dessen ungeachtet nicht zu einem einzigen ergänzen, weil sie nicht an entsprechenden Stellen der Netzhaut aufgetreten waren. Wenn die Augen auf einem Puncte haften, also die beiden Schaxen sich in demselben durchkreuzen, sollte man eigentlich alle übrigen Gegenstände doppelt sehen. In der Regel kommen aber diese doppelten Bilder nicht zum Bewusstsein, theils weil man sie weniger beachtet, theils weil sie ausserhalb des gelben Flecks, also an Stellen entstehen, an welchen deutliche Bilder gar nicht mehr zu Stande kommen, theils endlich auch, weil das gebildete Urtheil eine grosse Gewalt über die direkten Ergebnisse der sinnlichen Wahrnehmungen ausübt, so dass Bilder, welche, wie wir aus Erfahrung wissen, demselben Gegenstande angehören, wenn ihre scheinbaren Stellen im Raume nicht so weit auseinander liegen, in unserem Bewusstsein allmählig in einander übergehen.

Kleine Körper in der deutlichen Sehweite geben, weil beide Sehaxen ausmerklich verschiedenen Stellen auf sie gerichtet sind, in beiden Augen ungleiche Bilder, welche, indem sie sich in unserem Bewusstsein in einander verweben, die drei Dimensionen der Körperform nur um so bestimmter hervortreten lassen. Auf diese Eigenthümlichkeit gründet sich das von Wheatstone erfundene Stereoscop. Man kann mit dieser Geräthschaft zeigen, dass

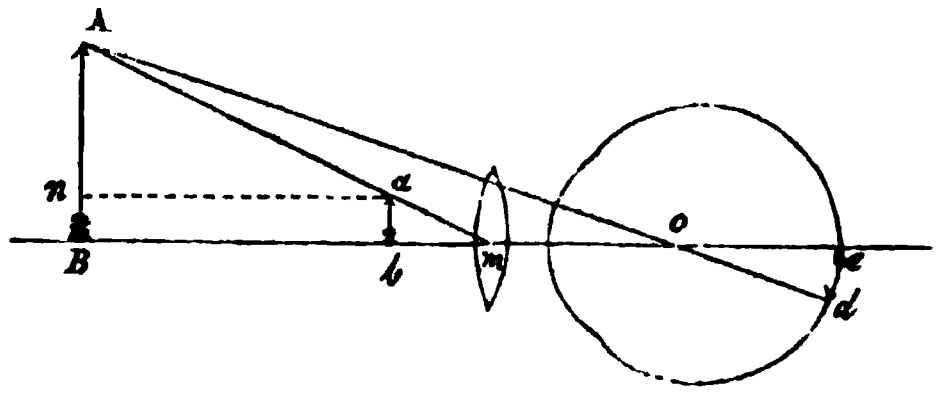
zwei perspectivische Zeichnungen eines Körpers, so aufgenommen, wie derselbe jedem der beiden Augen aus der deutlichen Sehweite erscheint, auf's täuschendste die Wirkung des Körpers selbst hervorbringen. Zu vergl. Pogg. Ann. Ergänzungsb. I. 1.

Ausführlicheres über das Auge findet man im Handwörterbuch der Physiologie von R. Wagner. III. 233; IV. 451.

569. Das einfache Mikroscop. Wenn man Gegenstände, welche unter einem zu kleinen Sehwinkel erscheinen, um in der deutlichen Sehweite noch wahrgenommen werden zu können, dem Auge näher rückt, so vergrössert man zwar ihren Sehwinkel und gewinnt zugleich an Licht; aber die Bilder fallen jetzt hinter die Netzhaut. Durch eine Convexlinse von hinlänglich sammelnder Kraft, die man nahe vor das Auge, den einfallenden Strahlen entgegenhält, lässt sich das Bild auf die Netzhaut zurückführen und dadurch sichtbar machen; oder wenn es vorher schon sichtbar war, so erblickt man es jetzt in schärferen Umrissen und vergrössert. Jede Sammellinse, zu diesem Zwecke gefasst, heisst ein einfaches Mikroscop oder auch eine Loupe. Je kürzer ihre Brennweite, also je stärker ihr Ablenkungsvermögen, um so näher kann man den Gegenstand vor das Auge bringen und um so mehr erscheint er vergrössert. Damit er aber zugleich so deutlich wie möglich gesehen werden könne, muss er in eine solche Lage gebracht werden, dass die in der Linse gebrochnen Strahlen aus der deutlichen Sehweite herzukommen scheinen.

Es sei o (Fig. 292) der optische Mittelpunct des Auges, m die Linse, ab der Gegenstand, in eine solche Entfernung vor Auge

Fig. 292.



und Linse gebracht, dass die von ihm ausgehenden Strahlen, von einem grösseren Gegenstande AB aus der deutlichen Sehweite herzukommen scheinen. In Folge dieser Richtung der Strahlen, werden sie in dem Sehwinkel $AoB = eod$ ein möglichst scharfes Bild ed auf die Netzhaut zeichnen. Man denke sich den Gegenstand ab nach nB in die deutliche Sehweite, also unter den viel kleineren Gesichtswinkel noB versetzt, und mit freiem Auge betrachtet, so muss die lineare Ausdehnung seines Bildes auf der Netzhaut, im Verhältniss der Linien AB zu nB abnehmen. Es ist aber $AB : nB = Bm : bm$. Der Abstand Bm entspricht

fast der deutlichen Sehweite (D), bm nahe der Brennweite (p) der Linse. Die lineare Vergrösserung entspricht daher dem Quotienten $\frac{D}{p}$, der deutlichen Sehweite durch die Brennweite.

Bei der Sehweite von 8 Zoll wird z. B. eine Loupe von 4 Linien Brennweite eine Vergrösserung bis zum $\left(\frac{8.12}{4} = 24\right)$ Vierundzwanzigfachen gewähren können, wenn das Glas sehr nahe vor das Auge gehalten wird. Ein Kurzsichtiger, dessen Brennweite nur 4 Zoll beträgt, wird mit derselben Linse nur die Hälfte der Vergrösserung erhalten.

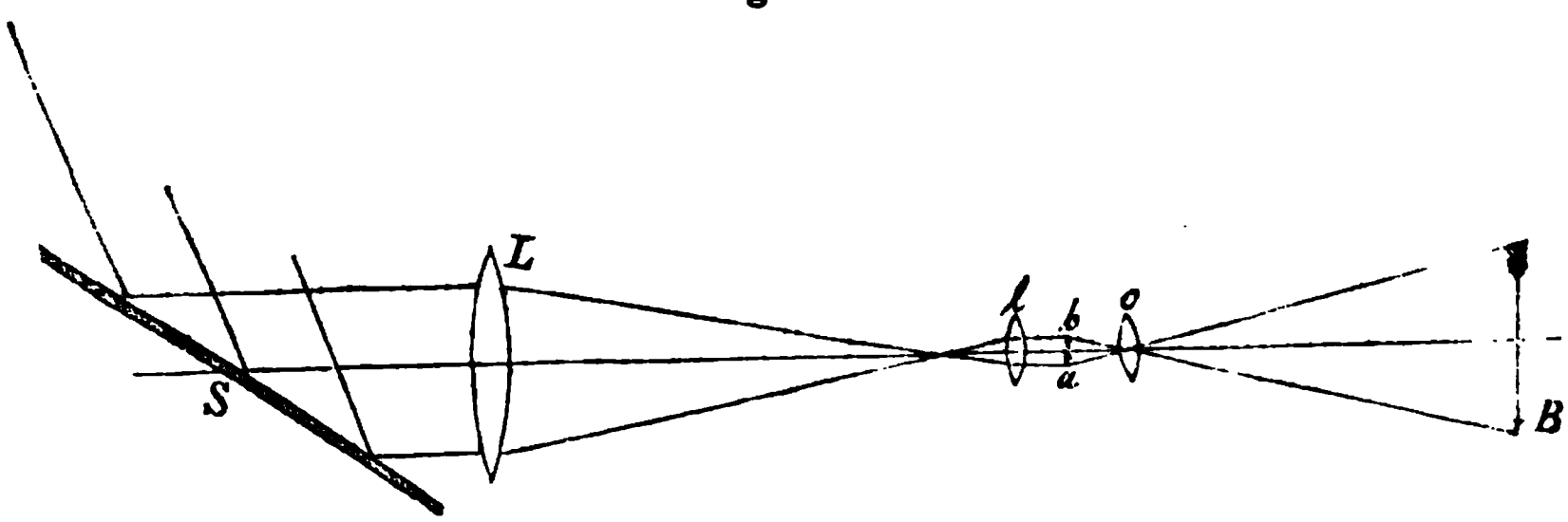
Das einfache Mikroscop kann auch aus zwei und mehreren Linsen gebildet sein, die dann in derselben Fassung nahe hinter einander stehen. Sie sind wenig gekrümmt, vertreten aber zusammengenommen die Stelle einer sehr convexen, also stark vergrössernden Linse. Man verschafft sich auf diese Weise ein grösseres Gesichtsfeld, ohne in gleichem Grade wie bei einer einzigen Convexlinse von gleicher vergrössernder Kraft durch die spärische Abweichung belästigt zu werden (565). Mehr als drei oder vier Linsen wendet man nicht leicht zusammen an.

Wenn eine Loupe auf beiden Seiten ungleiche Krümmungen hat, so wendet man die schwächere gegen das Object.

570. Das Sonnenmikroscop und Lampenmikroscop. Befindet sich ein kleiner Gegenstand jenseits des Brennpunctes einer Sammellinse, so kann er bei hinreichender Beleuchtung sein vergrössertes Bild auf einen weissen Schirm auf der andern Seite der Linse werfen.

Als Lichtquelle benutzt man die Sonnenstrahlen, welche, wie in Fig. 293 angedeutet ist, mittelst eines Spiegels ausserhalb des

Fig. 293.



verdunkelten Zimmers aufgefangen und dann mit Hülfe der Linsen L und l auf das Object ab geleitet werden. Anstatt der Sonne kann man auch Lampenlicht oder besser das Licht eines in der Wasser-

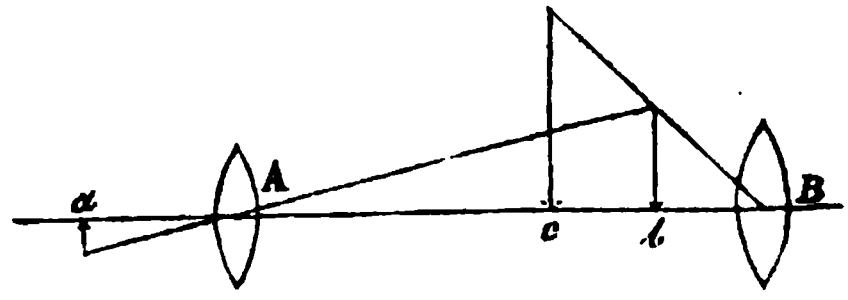
stoff-Sauerstoff-Flamme glühenden Kalkcylinders (Drummond'sches Licht) anwenden. Dasselbe muss ähnlich wie die Sonnenstrahlen mittelst eines geeigneten Linsensystems concentrirt und auf das Object gerichtet werden. Die Objectivlinse *O* ist gewöhnlich aus zwei oder drei achromatischen Linsen zusammengesetzt, weil es sonst unmöglich ist, ein nur einigermassen von Verzerrung freies Bild zu gewinnen.

Die lineare Vergrösserung steht im Verhältnisse der Entfernungen des Objects und seines Bildes von der Linse. Sie nimmt zu, je mehr man ersteres dem Brennpuncte der Linse nähert, d. h. um so weiter kann man den Schirm fortrücken. Aber freilich vermindert sich die Helligkeit des Bildes, umgekehrt wie das Quadrat der linearen Vergrösserung.

Die Zauberlaterne (laterna magica) ist eine Art Lampenmikroscop, bestimmt, kleine Gemälde auf Glas in sehr vergrössertem Maasstabe auf einer weissen Fläche darzustellen.

571. Das zusammengesetzte Mikroscop, kann man als eine Verbindung des Sonnenmikroscops mit dem einfachen Mikroscop ansehen. Das durch eine Sammellinse *A* (Fig. 294) das Objectivglas, hervorgebrachte schon sehr vergrösserte wirk-

Fig. 294.

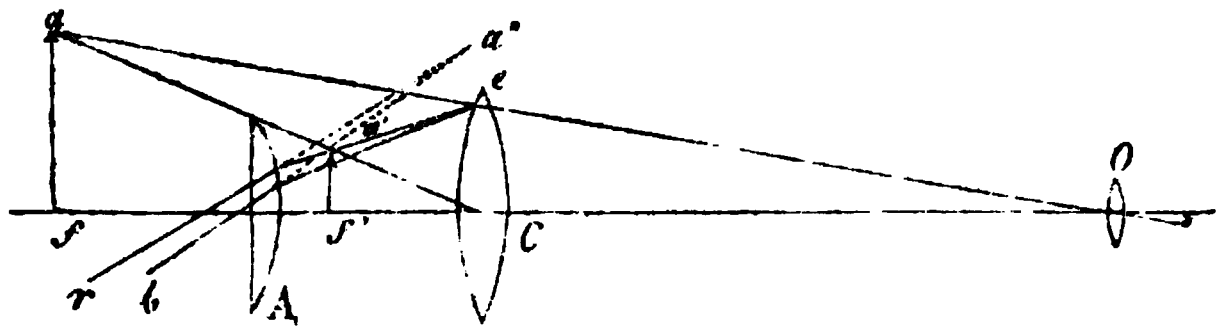


liche Bild (*b*) eines stark beleuchteten Objects (*a*), wird mit einer zweiten Linse (*B*), dem Ocularglase, in die deutliche Sehweite (nach *c*) geworfen und so in neuer Vergrösserung betrachtet. Die erste Vergrösserung ist $\frac{Ab}{Aa}$, die zweite $\frac{Bc}{Bb}$; die ganze Vergrösserung also beträgt $\frac{Ab \times Bc}{Aa \times Bb}$. Die Werthe Aa und Bb unterscheiden sich wenig von den Brennweiten beider Linsen; Bc ist die deutliche Sehweite und Ab der Abstand beider Linsen, vermindert um die Brennweite des Oculars. Die stärkste Vergrösserung wird, alles übrige gleichgesetzt, stets dem Auge gewährt, welches die grösste deutliche Sehweite besitzt. Ohne Aenderung des Linsensystems lässt sich aber ferner eine Vermehrung der Vergrösserung auch dadurch erzielen, dass man den Abstand beider Linsen vergrössert, beziehungsweise das Object *a* dem Brennpuncte des Objectivglases nähert. Dieses Hülfsmittel, die Kraft des Instrumentes zu steigern, ist jedoch in

sehr enge Gränzen eingeschlossen, da eine grosse Länge den Gebrauch erschwert. Bei gleicher Länge des Mikroscops kann man seine vergrössernde Kraft dadurch vermehren, dass man Linsen von kürzerer Brennweite anwendet; und dieses Mittel wird hauptsächlich benutzt.

Als Objectiv dient eine oder je nach dem Bedürfnisse der Vergrösserung auch mehrere in derselben Fassung verbundene achromatische Linsen. Das Ocular ist gewöhnlich nicht aus Crownglas und Flintglas zusammengesetzt, sondern besteht aus der eigentlichen Ocularlinse in Verbindung mit einem sogenannten Collectivglase. Letzteres erhält eine solche Stellung, dass es die durch das Objectiv *O* (Fig. 295) gegangnen Strahlen auffängt, bevor sich dieselben zu dem Bilde *af* vereinigen konnten. In Folge

Fig. 295.



der hierdurch vermehrten Convergenz der Strahlen, wird das Bild an der Stelle *a'f'*, also in geringerem Abstande von dem Objectivglase erzeugt. Die auf die Collectivlinse fallenden Strahlen, weil sie durch das achromatische Objectiv gegangen waren, sind farbenfrei. In der Linse *C* entsteht aber wieder Farbenzerstreuung. Z. B. von dem bei *e* einfallenden Strahle *Oe* wird der blaue Theil stärker gebrochen, als der rothe. Ersterer trifft aber eben deshalb das Ocular *A* an einer der Mitte näher liegenden Stelle, und wird darum in diesem weniger gebrochen, als der dem Rande näher einfallende rothe Strahl. Bei passender Wahl und Stellung der Linsen *C* und *A* lässt es sich daher erreichen, dass der rothe und blaue Strahl in solchen Richtungen ausfallen, wie wenn sie unmittelbar von einem und demselben Puncte (*a''*) herkämen. D. h. sie ergänzen sich zu farblosem Lichte. Das Ocular *A* ist gewöhnlich eine planconvexe Linse von nicht sehr starker Krümmung, deren ebne Fläche dem Auge zugewendet ist. Die sphärische Abweichung ist bei dieser Anordnung nicht sehr bedeutend und wird überdiess durch die Fassung, welche einen grossen Theil der Ocularoberfläche bedeckt, ganz unschädlich gemacht.

Zum Gebrauche pflegt man das Mikroscop senkrecht zu stellen. Die nöthige Beleuchtung schafft man durch einen kleinen Hohlspiegel der unter dem Objecttische angebracht ist und jede Drehung gestattet. Er wird so gestellt, dass er das weisse Licht der Wolken durch Reflexion senkrecht aufwärts wirft. Dieses Mittel ist natürlich nur bei durchsichtigen Objecten anwendbar. Um undurchsichtige beleuchten zu können, muss noch ein zwei-

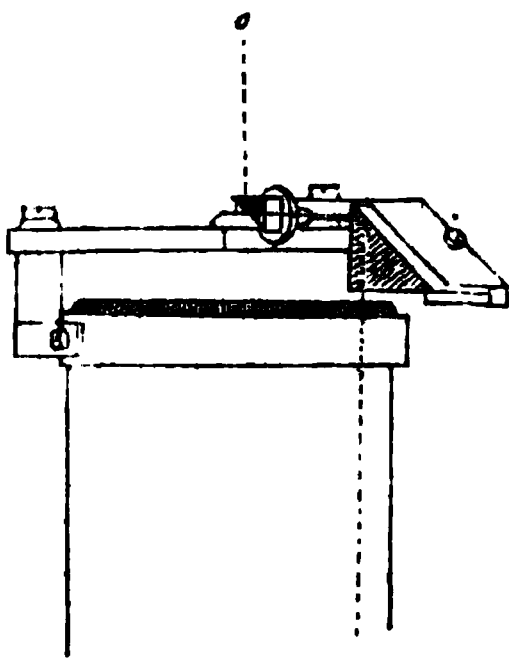
ter in der Mitte durchbrochener Hohlspiegel über dem Objecte angebracht werden, oder wenn hierzu der Platz fehlt, leitet man einen Bündel durch eine Sammellinse concentrirter Lichtstrahlen von der Seite her auf das Object.

Man verlangt von einem guten Mikroscope, dass es mit starker Vergrösserung doch zugleich ein möglichst, grosses Gesichtsfeld, Helligkeit und Schärfe des Bildes verbinde. Eine befriedigende Vereinigung dieser einander zum Theil widerstrebenden Bedingungen, gehört zu den schwierigsten Aufgaben des praktischen Mechanikers, deren Lösung man hauptsächlich Fraunhofer, Plössl in Wien und Amici in Modena zu verdanken hat.

Ein sehr gutes Hülfsmittel, den Werth eines Mikroscops zu prüfen, gewähren feine Theilungen auf Glas. Der Mechaniker Nobert in Greifswalde hat zu diesem Zwecke Linien in 10 Gruppen dicht hintereinander auf derselben Glasplatte aufgetragen, von solcher Feinheit, dass in der ersten Gruppe 1000 und in der zehnten 4000 auf die Länge einer Linie gehen würden. Schon die Linien der ersten Gruppe lassen sich nur bei ziemlich starker Vergrösserung unterscheiden. Je mehr Gruppen mit einem Mikroscope auflösbar sind, um so bedeutender ist seine Schärfe und vergrössernde Kraft.

Um die absolute vergrössernde Kraft zu messen, wird eine bekannte Theilung auf Glas als Object benutzt, und ihr vergrössertes Bild mittelst der camera lucida auf einen in der deutlichen Sehweite aufgestellten, am besten auf weisser Fläche aufgetragenen, guten Massstab geworfen. Eine sehr einfach eingerichtete, zu diesem Zwecke brauchbare camera lucida, welche leicht an jedem Mikroscop angebracht werden kann, ist in Fig. 296 abgebildet. Sie besteht aus zwei rechtwinklich geschliffenen Glasprismen von welchen das kleinere beim Gebrauche unmittelbar über dem Oculare, etwas zur Seite der Axe schwebt, das grössere aber seitwärts vom Rohre des Mikroscops über dem Massstabe hängt. Die von dem Masse aus der deutlichen Sehweite kommenden Strahlen, in der Hinterfläche des grossen Prisma's zum erstenmal reflectirt, gelangen nach einer zweiten Reflexion im kleinen Prisma zum Auge, und bewirken so, dass das vergrösserte Bild und das des Massstabs auf der Netzhaut sich decken.

Fig. 296.



Es gibt Mikroscope welche eine 1000fache und selbst 1700fache Vergrösserung zulassen. Bei der wirklichen Benutzung geht man selten über die 300fache. Um die lineare Ausdehnung kleiner Objecte zu messen, hat man mehrere Hülfsmittel. Eins der einfachsten besteht darin, ein Glasmikrometer (eine feine Theilung auf Glas, z. B. 50 Theilstriche auf ein Millimeter) in den Brennpunct des Oculars zu setzen; zu welchem Zwecke in den Mikroscopen von Plössl die nöthige Vorkehrung getroffen ist. Man erblickt dann das auf dem Object-Tische befindliche, durch die ganze Kraft des Mikroscops vergrösserte Object zwischen einer Anzahl Theilstriche des nur durch die Ocularlinse vergrössert gesehenen Masses eingegränzt. Hatte man nun zuvor ein zweites Glasmikrometer von bekannter Theilung an die Stelle des Objects gebracht, und das Verhältniss beider Theilungen in der Vergrösserung verglichen, so lässt sich danach leicht die Grösse anderer Objecte beurtheilen.

Gesetzt beide Mikrometer haben einerlei Theilung, und unter dem Mikroscope gesehen, fallen 30 Theilstriche des oberen je in den Zwischenraum

von zwei Theilstrichen des unteren, so würde man dadurch erfahren, dass die Objectivlinse allein eine 30malige Vergrösserung bewirkt.

Feinere Messungen als nach der beschriebenen Methode, dürften mittelst des Schraubenmikrometers zu erreichen sein, welches neuerdings bei den Mikroscopen von Kellner so angebracht ist, dass es in der Brennweite des Oculars einen wagerecht gespannten Spinnefaden mit sich selbst parallel fortschieben kann.

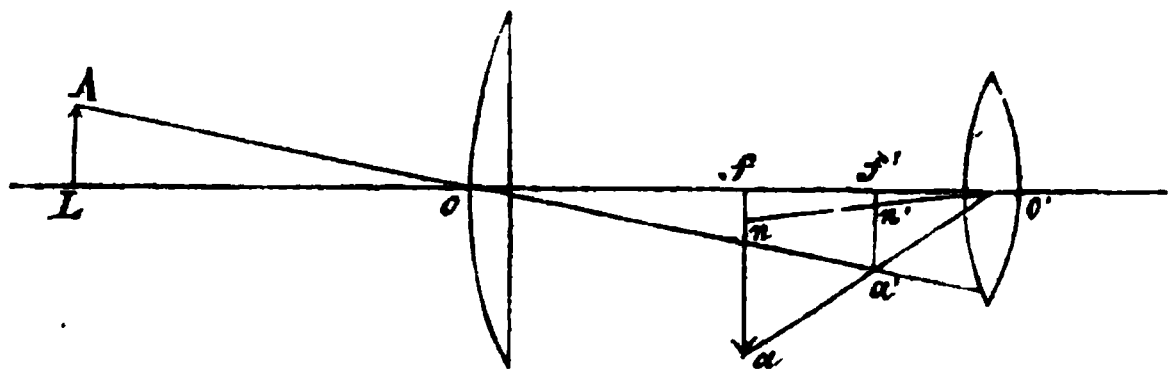
Ein ebenfalls recht zweckmässiges Verfahren hat Dr. Welker in Ausführung gebracht. (Henle und Pfeufer Zeitschr. X. 1 und 221.)

Vorzügliche Mikroscope bezieht man gegenwärtig von Plössl in Wien, Schiek in Berlin, Oberhäuser in Paris. Auch Kellner in Wetzlar, bekannt durch seine vortrefflichen achromatischen Oculare, verfertigt seit Kurzem Mikroscope von ausgezeichneter Güte.

572. Das Fernrohr (Astronomische Fernrohr). — Weit entlegene Gegenstände, von welchen Licht auf eine Sammellinse fällt, erzeugen hinter derselben, in der Nähe des Brennpunctes, doch etwas weiter hinaus, verkleinerte und verkehrte Bilder. In der camera obscura werden diese Bilder auf eine weisse Wand geworfen und unmittelbar betrachtet. Gehen aber die durch die Convexlinse gesammelten Strahlen durch ein cylindrisches Rohr und bringt man in der Nähe der Stelle, wo das verkleinerte Bild entsteht, eine Loupe an, so dass das Bild innerhalb ihrer Brennweite zu liegen kommt und folglich durch die Loupe wieder vergrössert und in der deutlichen Sehweite erblickt werden kann, so erhält man das Fernrohr in der ursprünglichen Gestalt, welche demselben von seinem Erfinder, Kepler, gegeben worden war. —

Das Fernrohr besteht also, gleich dem Mikroscope, wesentlich aus zwei Convexlinsen, von welchen die eine als Objectiv, die andere als Ocular dient, und deren optische Axen genau in derselben geraden Linie zusammenfallen.

Fig. 297.



Der entfernte Gegenstand AL (Fig. 297) erzeugt hinter der Linse o das Bild $f'a'$, welches durch die zweite Linse o' betrachtet, bei fa zu liegen scheint. Der Punct f' liegt von dem Objectivglase nur ein geringes weiter als sein Brennpunct; dem Ocularglase liegt er um ein weniges näher als dessen Brennpunct. Der Abstand oo' beider Linsen ist daher fast genau gleich der Summe beider Brennweiten.

Durch das Fernrohr werden die Gegenstände genähert und

vergrössert gesehen. Die Vergrösserung entspricht dem Grössenverhältnisse der Bilder, welche der Gegenstand AL unmittelbar und sein Fernrohrbild auf der Netzhaut hervorbringen. Die Grösse eines jeden dieser Bilder verhält sich wie die Grösse des Sehwinkels, worin es liegt. Darf man die Länge des Fernrohrs, als einen sehr kleinen Bruchtheil von der Entfernung des Gegenstandes, vernachlässigen, so entspricht der Sehwinkel des letzteren dem Winkel $f'o\,a' = fo'n$. Es ist folglich:

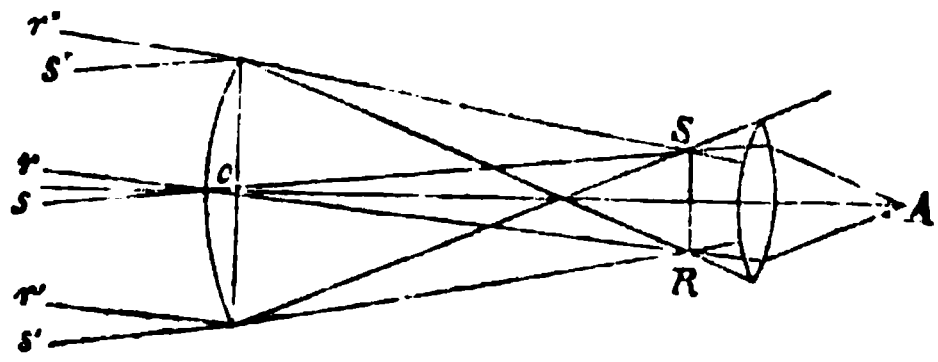
$$\frac{fn}{fa} = \frac{f'n'}{f'a'} = \frac{f'o'}{f'o},$$

das gesuchte Grössenverhältniss beider Bilder.

Da nun $f'o$ als Brennweite des Objectivs, $f'o'$ als Brennweite des Oculars genommen werden kann, so sieht man, dass die lineare Vergrösserung dem Quotienten der Brennweite des Objectivs, dividirt durch diejenige des Oculars nahe gleich ist.

Die Anforderungen an ein gutes Fernrohr sind ausser der Vergrösserung: Deutlichkeit der Bilder, Helligkeit und ein möglichst grosses Gesichtsfeld. Ehe man mit den Mitteln bekannt war, die Farbenzerstreuung zu beseitigen, wusste man eine starke und zugleich möglichst farbenfreie Vergrösserung nur dadurch zu erzielen, dass man Objectivlinsen von geringer Krümmung, also sehr grosser Brennweite anwendete. Das Rohr musste daher eine bedeutende Länge erhalten. Zum Transport war es wenig brauchbar und in der Handhabung höchst unbequem. Durch die Anwendung achromatischer Objective ist es gelungen, farbenfreie Objectivbilder zu erhalten, die nun auch mit convexeren Ocularen betrachtet werden dürfen. Dadurch ist es möglich geworden, solchen Instrumenten, die ihrer Bestimmung nach tragbar sein müssen, eine viel geringere Länge zu geben und dennoch bei befriedigender Deutlichkeit ziemlich bedeutende Vergrösserungen hervorzubringen.

Fig. 298.



Die Helligkeit hängt von der Grösse des Objectives ab. Es ist klar, dass in jedem Puncte des Bildes RS (Fig. 298) um so mehr Licht concentrirt wird, je grösser die Fläche des Glases o, durch welches das Licht einfällt. Die von den verschiedenen Puncten des Bildes wieder auseinandergehenden Strahlenkegel erleiden eine zweite Brechung in der Ocularlinse; sie erhalten da-

durch eine solche Richtung, als kämen sie aus der deutlichen Sehweite her. Die vortheilhafteste Stellung für das Auge, um sie in möglichst grosser Menge aufzunehmen, ist der Punct *A*, der Kreuzungspunct der Hauptstrahlen. Denn in dieser Gegend der Axe treffen Strahlen aus dem ganzen Umfange des Sehfeldes zusammen.

Die Grösse des Sehfeldes ist durch die Oeffnung des Oculars beschränkt. Sollen alle von einem entfernten Gegenstande auf das Objectiv gerichteten Strahlen das Ocular erreichen, so darf (wie ein Blick auf Fig. 298 leicht verständlich macht) das Bild die Ausdehnung *RS* nicht überschreiten. Bedeckt man einen Theil der Ocularlinse, so dass die am Rande einfallenden Strahlenbündel zurückgehalten werden, so vermindert sich eben dadurch das Sehfeld. Je convexer die Linse ist, je mehr sie vergrössert, um so mehr muss sie gedeckt werden, um die chromatische und sphärische Abweichung unschädlich zu machen, um so kleiner wird daher das Gesichtsfeld.

Die Farbenzerstreuung, welche durch das Ocular selbst herbeigeführt wird, pflegt man dadurch zu vermeiden, dass man demselben in ganz ähnlicher Art wie bei den Mikroscopen eine Collectivlinse beigibt. Das in dieser Weise zusammengesetzte Ocular gibt nicht nur farbenfreie Bilder, sondern vergrössert auch das Gesichtsfeld. Es sei *af* (Fig. 299) das erste Fernrohrbild; *r a s* der auf den Punct *a* gerichtete Lichtbündel. Alle diese Strahlen würden für das Ocular verloren gegangen sein. Indem sie aber, noch ehe sie sich vereinigen konnten, von der Linse *c* aufgefangen

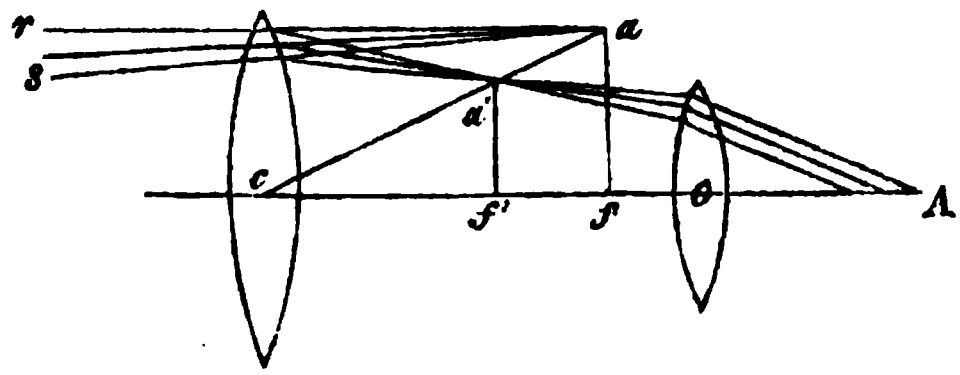


Fig. 299.

und gegen *a'* gelenkt wurden, treffen sie die Linse *o*, und können so zum Auge gelangen.

Seit Kurzem ist es dem Mechaniker Kellner in Wetzlar gelungen, ein ungefähr gleich grosses Gesichtsfeld, und besonders gegen den Rand hin schärfere Bilder mit Hülfe von Doppellinsen aus Flintglas und Crownglas zu erreichen.

Die Stelle *SR* (Fig. 298), an welcher das Bild entsteht, das durch die Ocularlinse betrachtet werden soll, ist im Innern des Rohrs durch eine Verengerung angezeigt, die gerade nur so viel Spielraum lässt, als für den Umfang des Bildes nothwendig ist. Hier sind in dem astronomischen Fernrohr zwei Spinnenfäden

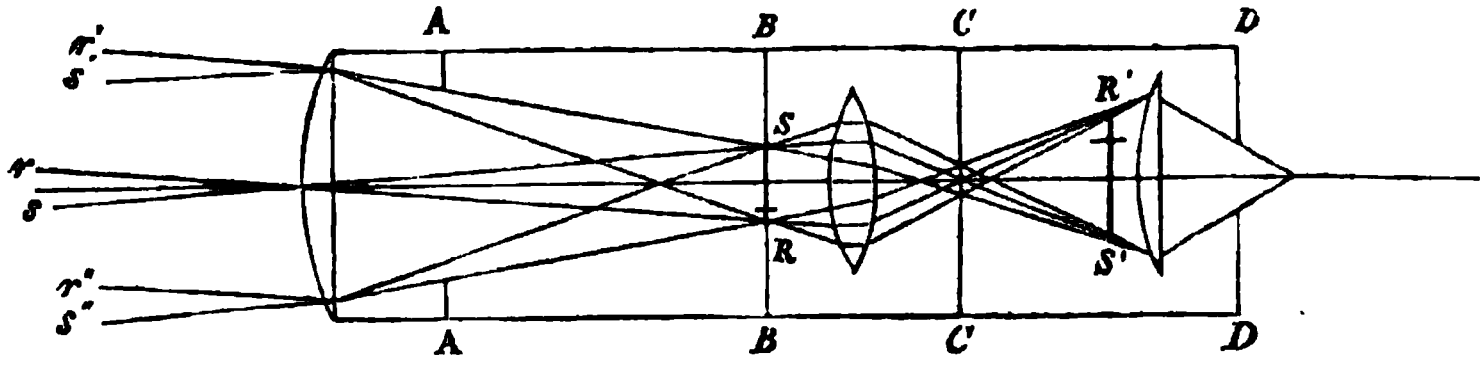
ausgespannt, die sich rechtwinklich durchkreuzen und daher das Fadenkreuz genannt werden. Das Auge erblickt sie zugleich mit dem Bilde in der deutlichen Sehweite, so dass sie dienen können, Aenderungen in der Lage des Bildes wahrzunehmen.

Die vergrössernde Kraft eines Fernrohrs lässt sich dadurch bestimmen, dass man es auf einen entfernten Massstab richtet, und die so vergrössert gesehene Theilung mit einer zweiten ähnlichen vergleicht, die man in der deutlichen Sehweite mit dem andern Auge betrachtet.

Von dem astronomischen Fernrohr (Telescop) unterscheidet sich das Erdfernrohr dadurch, dass man durch dasselbe die Gegenstände in ihrer natürlichen Stellung erblickt. Man bewirkt diess durch Einschaltung einer dritten Linse oder eines dritten Linsensystems, welches so angebracht wird, dass es das vermittelst des Objectivglases erzeugte verkehrte Bild wieder umdreht.

Um einen ganz deutlichen Begriff von der Einrichtung des Erdfernrohrs zu erhalten, denke man sich, dass das erste oder Objectivglas - Bild RS (Fig. 300) nicht durch ein einfaches, sondern durch ein zusammengesetztes Mikroscop betrachtet werde.

Fig. 300.

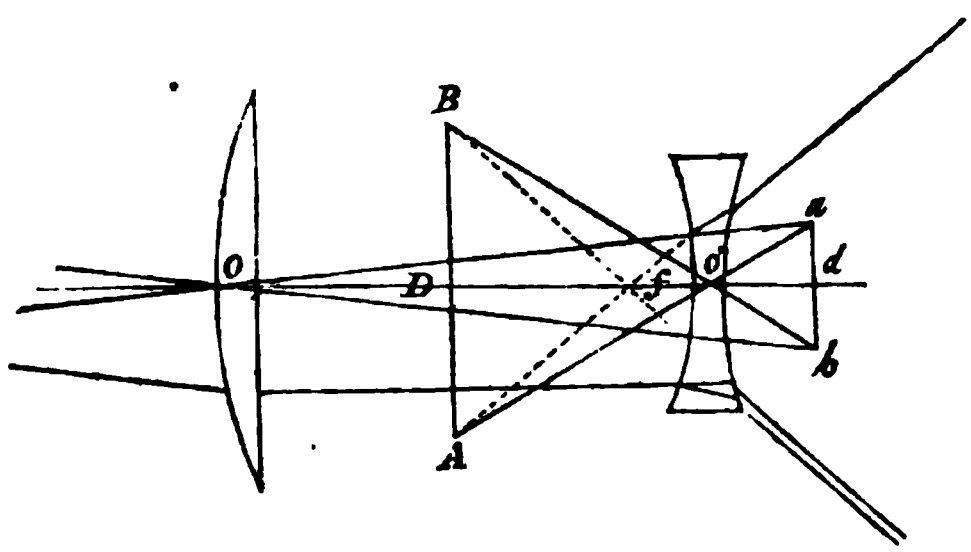


Es ist begreiflich, dass die verschiedenen Einflüsse welche die Deutlichkeit beeinträchtigen, mit der Zahl der angewendeten Linsensysteme zunehmen müssen. Man sucht daher die Randstrahlen und überhaupt alles störende Licht mit Hülfe von Blendungen abzuhalten, welche bei den dioptrischen Instrumenten denselben Dienst leisten, wie die Iris bei dem menschlichen Auge. Die Hauptblendung des Erdfernrohrs befindet sich in der Ebne CC. Es ist eine durchbrochne Scheibe an der Durchkreuzungsstelle der Axenstrahlen, welche, wie man sieht, gerade noch hinreichende Oeffnung hat, um alles brauchbare Licht, das sich hier in einem sehr engen Raume zusammenzieht, durchzulassen. Andere durchbrochne Scheiben, wie AA, BB, DD wirken in ähnlicher Weise. Um schädliche Reflexe im Innern des Rohrs zu vermeiden, ist es geschwärzt.

573. Das Galileische oder Holländische Fernrohr

gibt, wie das Erdfernrohr, aufrecht stehende Bilder. Die von einem entfernten Gegenstande ausgehenden und in der Objectivlinse gebrochnen Strahlen werden, noch ehe sie sich in *ab* (Fig. 301) zu einem Bilde vereinigen konnten, von einer Zerstreuungslinse aufgefangen. Dadurch aufs Neue gebrochen werden sie, wenn der Abstand der Linse vom Puncte *d* etwas mehr beträgt als ihre Brennweite, divergirend gemacht und so geleitet, als kämen sie aus der deutlichen Sehweite. Sie gewähren dann dem vor der Linse befindlichen Auge den Eindruck eines aufrecht stehenden, vergrösserten Bildes.

Fig. 301.



Die Hauptstrahlen *oa* und *ob* erhalten durch die Ablenkung in der Linse *o'* einen scheinbaren Durchkreuzungspunct *f*, dessen Abstand von der Linse etwas weniger als ihre Brennweite beträgt und aus der Gleichung $o'f = -\frac{p \cdot oo'}{oo' + p}$ (No. 563) gefunden wird. Sie erhalten also eine solche Richtung, als bewegten sie sich hinter der Linse in den Linien *Af* und *Bf*. Hieraus erklärt sich die Umkehrung des Bildes *ab*. Um die Abstände *o'd* und *o'D* zu bestimmen, bemerke man dass die auf die Linse treffenden Strahlen zwar ihrer Richtung nach dem Bilde *ab* angehören, dass aber der Sinn ihrer Bewegung der entgegengesetzte ist. Will man sich daher den Axenpunct *d* als Ausgangspunct der Strahlen vorstellen, welche auf der Hinterfläche der Linse *o'* in der Richtung gegen *d* einfallen, so muss man in der Gleichung $f = -\frac{p\ l}{l + p}$ den Werth $l = o'd$ negativ setzen. Es wird dann $f = o'D = -\frac{p \cdot o'd}{o'd - p}$.

Hieraus geht hervor, dass das Bild im Abstande *o'D* nur so lange negativ, d. h. scheinbar bleibt, als *o'd* an Grösse die Brennweite *p* der Linse übertrifft. Der Abstand *oo'* beider Linsen ist also nahe gleich dem Unterschiede ihrer Brennweiten, jedoch immer etwas geringer.

Der Gegenstand erscheint dem freien Auge unter dem Sehwinkel *aob*, sein Bild unter dem Sekwinkel *ao'b*. Die Vergrösserung ist daher annähernd durch Verhältniss $\frac{od}{o'd}$, nämlich die Brennweite des Objectivs dividirt durch die des Oculars, ausgedrückt.

Das Galileische Fernrohr scheint von einem holländischen Optiker um das Jahr 1608 erfunden worden zu sein. Bald darauf hat es Galilei zur Beobachtung der Himmelskörper benutzt. Gegenwärtig wird es hauptsächlich als Theaterperspectiv angewendet. Bei den bedeutenderen Vergrösse-

rungen nimmt sein Sehfeld ungemein ab, weil das Auge der günstigsten Stellung, nämlich dem Kreuzungspuncte *f* der Hauptstrahlen zu weit entrückt ist.

574. Das Spiegeltelescop oder Katoptrische Fernrohr gründet sich auf die Eigenschaft sphärischer Hohlspiegel, in der Nähe ihres Brennpunctes, das Bild entfernt liegender Gegenstände hervorzubringen. Dieses Bild wird dann von der Seite oder bei sehr grossen Spiegeln auch von Vorne mit einem einfachen Mikroscope betrachtet. Eine grosse Berühmtheit hat das Herschel'sche Spiegeltelescop erlangt, dessen Spiegel bei 40 Fuss Brennweite, 4 Fuss Durchmesser hat. Da die Spiegelbilder farblos sind, so waren die Spiegeltelescope höchst wichtige Instrumente, so lange man die Kunst nicht verstand, dioptrische Telescope mit achromatischen Objectiven von grosser Oeffnung zu verfertigen. Gegenwärtig werden sie aber wenig mehr gebraucht.

Von dem Lichte.

Zweite Abtheilung.

575. Die Erscheinungen der Fortpflanzung des Lichtes, der Reflexion, Brechung und Farbenzerstreuung, deren Gesetze in dem vorhergehenden Abschnitte vorgetragen worden sind, beweisen aufs bestimmteste, dass die Lichtwirkungen, gleich denen der Wärme, eines materiellen Trägers von äusserster Feinheit und grosser elastischer Kraft bedürfen. Hinsichtlich der Natur dieses Mittels, welches die Uebertragung der Lichteindrücke auf die weiteste Entfernung hin und mit einer Geschwindigkeit gestattet, gegen welche jede irdische Abmessung nur als kleiner Bruchtheil erscheint, herrschte lange Zeit eine Meinungsverschiedenheit unter den Physikern. Es entstanden zwei Hypothesen, welche, als Grundlage der Lichterscheinungen aufgestellt, eine mathematische Entwicklung zulassen.

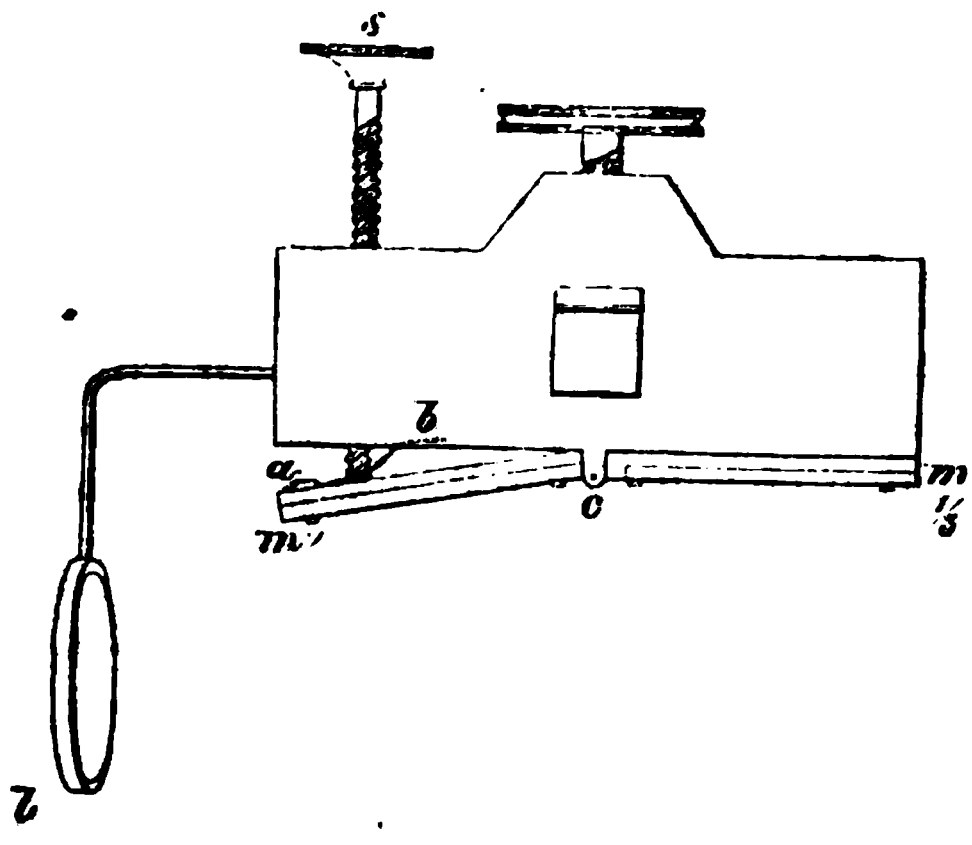
Nach der einen, der Emanationstheorie, gibt es einen eigenthümlichen Lichtstoff, dessen Theilchen gleich denen des Wärmestoffs unfassbar, unwägbar und in hohem Grade elastisch sind und welche von jedem leuchtenden Körper durch eine ganz ausserordentlich grosse, übrigens hinsichtlich des Ursprungs nicht näher nachweisbare Kraft nach allen Richtungen fortgeschleudert werden. Die Annahme eines Lichtstoffes von dieser Beschaffenheit, welcher Newton Geltung verschafft hat, genügt zur Erklärung aller bisher beschriebenen Lichterscheinungen. Von vielen andern aber, zu deren Betrachtung wir jetzt übergehen wollen, gibt sie nicht in gleich befriedigender Weise Rechenschaft und

einige lässt sie ganz unerklärt. Sie hat daher in der neueren Zeit aufgegeben werden müssen*).

Nach der andern Hypothese, der Undulationstheorie oder Vibrationstheorie (Wellentheorie) wird das Licht ähnlich wie der Schall durch Schwingungen erzeugt und seine Fortpflanzung geschieht durch Wellenbewegung in einem äusserst feinen und elastischen Fluidum, dem Aether, welcher den ganzen Weltraum ausfüllt und die Poren aller Körper durchdringt. Die Undulationstheorie ist zuerst von Huyghens entwickelt und später von Euler vertheidigt worden. Sie blieb indessen lange Zeit unbeachtet, bis sie in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts durch die Forschungen Young's und hauptsächlich Fresnel's weiter ausgebildet wurde. Sie gibt in ihrer gegenwärtigen Ausbildung nicht nur von den meisten und darunter vielen, scheinbar verwickelten Lichterscheinungen eine einfache, ungezwungene Erklärung, sondern hat auch den Schlüssel zu zahlreichen neuen Entdeckungen im Gebiete der Optik geliefert.

576. Interferenz des Lichtes. — Den Ausgangspunct der neueren Entwickelung der Wellentheorie des Lichtes bildet die merkwürdige von Fresnel beobachtete Thatsache, dass zwei Strahlen, welche, von einem Lichtpuncte ausgegangen, nachdem sie ungleich lange Wege zurückgelegt haben, wieder in einem Puncte zusammentreffen, sich in ihrer Wirkung daselbst aufzuheben, oder mit andern Worten: dass sie an dieser Stelle Dunkelheit hervor zu bringen vermögen. Man nennt diese Erscheinung die Interferenz des Lichtes. Fig. 302 zeigt die Einrichtung des Apparates, mit dessen Hülfe Fresnel dieselbe hervorbrachte. Zwei Spiegel mc und mc' von schwarzem Glase, in Rahmen von starkem Messing gefasst, stossen

Fig. 302.



*) Eine ausführliche Darstellung der Newton'schen Lichttheorie findet man in Newton's Optik; in Herschels Lehre vom Lichte, Uebersetzung von Schmidt S. 268 bis 296; so wie in Biots Lehrbuch der Experimentalphysik, deutsche Bearbeitung von Fechner.

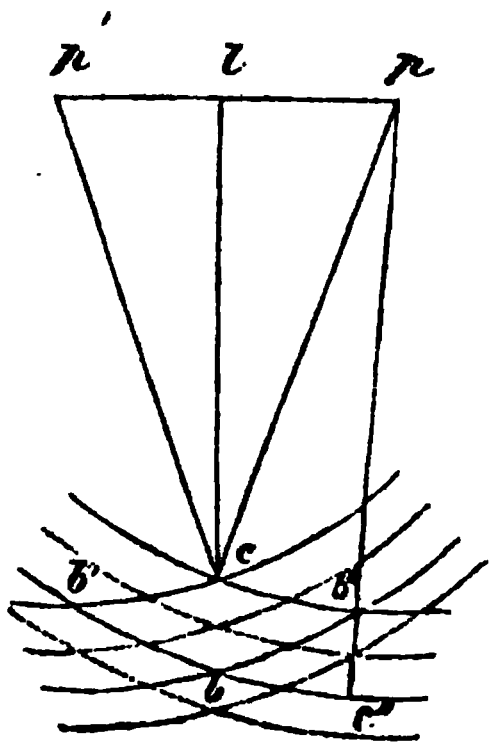
bei *c* an scharf abgeschliffenen Kanten aneinander. *m'c* ist um diese Kante als Axe beweglich. Die Bewegung geschieht mittelst der Schraube *s*, während eine Feder *a b* den Spiegel gegen die Holzwiderlage, an welcher das Ende *b* der Feder festsitzt, zu ziehen sucht. Auf diese Weise wird es möglich, beide Spiegel auf einen beliebigen, zum Gebrauche immer sehr stumpfen Winkel *m c m'* einzustellen.

Angenommen, diese beiden Spiegel, in einem Winkel, der von 180° nur wenig abweicht, gegen einander geneigt, und mittelst ihres Trägers so gerichtet, dass die Kante *c* vertical steht, werden von den wagerecht einfallenden Strahlen eines Lichtpunctes *f* (Fig. 1. Pl. VI) getroffen und werfen dieselben so zurück, als wenn sie von den Puncten *p* und *p'*, welche die Lage der Spiegel - Bilder des leuchtenden Punctes *f* bezeichnen, ausgegangen wären. Gesetzt ferner, es diene als Lichtquelle eine vertikale Lichtlinie, wie man sie erhält, wenn man hinter dem vertikalen Spalt im Laden eines dunkeln Zimmers eine cylindrische Linse aufstellt. Man lasse, um homogene Strahlen zu erhalten, das Licht etwa durch ein rothes Glas gehen, und stelle bei *l*, wo sich die zurückgeworfenen Strahlenbüschel kreuzen, eine weisse Tafel auf, so erblickt man in der Mitte des beleuchteten Feldes einen hellen Streifen, der auf beiden Seiten von dunklen Streifen begränzt ist, auf welche dann wieder abwechselnd helle und dunkle Streifen in grösserer Anzahl folgen.

Diese Erscheinung, welche nach der Emanationstheorie völlig unerklärbar ist, wird sogleich verständlich, wenn man sich die Lichtstrahlen als ein System von Wellen denkt, die sich in dem vorliegenden Falle in concentrischen Kreisen um die Puncte *p* und *p'* verbreiten. Wenn in der Figur die ausgezogenen Linien die positiven, die punktirten die negativen Wellenhälften vorstellen, entsprechend, z. B. den Wellenbergen und Wellenthälern der Wasserwellen, so ist klar, dass in jedem Puncte der Linie *a b*, verstärktes Licht gesehen werden muss, da je zwei positive oder zwei negative Wellenhälften sich in ihrer Wirkung unterstützen. Dasselbe wird in allen Puncten der Linien *a' b'*, *a'' b''* der Fall sein. Dagegen in allen Puncten der Linien *r s*, *r' s'*, *r'' s''*, *r''' s'''* begegnen sich in jedem Augenblicke Wellen von genau entgegengesetzter Phase, was eine völlige Aufhebung des Lichtes an diesen Puncten zur Folge hat.

Sind in Fig. 303 *b' c* und *b b''* zwei positive Wellen, die von dem Puncte *p'*, *b'' c* und *b b'* ebenfalls zwei positive Wellen, welche von dem Puncte *p* ausgingen, so liegt die mittlere helle Linie in *b*, die ersten seitlichen hellen Streifen oder Fransen in *b'* und *b''*. Da nun für grosse Entfernung der Lichtquelle das Dreieck *b' b'' c''* geradelinig und wegen der Gleichheit der Winkel dem Dreiecke *c l p* ähnlich wird, so kann man die Grösse *b'' c''* oder die Länge

Fig. 303.



einer Lichtwelle nach der Formel $b''c'' = b'b'' \sin.\alpha$ berechnen, wenn man den Abstand $b'b''$ der ersten hellen Seitenfransen und den Winkel $2\alpha = bb'c = pcp'$ in dem Dreiecke cpp' gemessen hat. Fresnel hat, um den Abstand $b'b''$ genau zu ermitteln, eine Loupe so in den Weg der zurückgeworfenen Strahlenbüschel gestellt, dass ihr Brennraum an die Stelle fiel, wo zuvor die weisse Tafel stand. Hier war zugleich ein feiner Verticalfaden so ausgespannt, dass er mit der Loupe durch eine Mikrometerschraube in horizontalem Sinne verschoben und die Verschiebung genau gemessen werden konnte. Bei Anwendung von homogenem Lichte aus verschiedenen Theilen des Spectrums ergab sich, dass die Fransen um so dichter zusammenrückten, je brechbarer das angewendete Licht war. Die Wellenlängen des blauen Lichtes sind demnach kleiner, als die des rothen. Da man unter Wellenlänge den Weg zu verstehen hat, um welchen sich die Bewegung während einer vollen Schwingung eines oscillirenden Theilchens fortpflanzte, so ist das Verhältniss der Wellenlängen auch das der Oscillationsdauer der Theilchen, welche verschiedenfarbiges Licht fortpflanzen; wenigstens unter der Voraussetzung, dass Lichtstrahlen aller Art gleiche Geschwindigkeit besitzen. Die Wellenlänge eines gewissen rothen Strahles beträgt z. B. 0,00064 Millimeter, die eines violetten Strahls 0,00040 Millimeter. Da das Licht in der Sekunde 41518 geogr. Meilen, oder 41518 . 7420,7 . 1000 Millimeter durchläuft, so vollendet ein Aether-Theilchen, während es rothes Licht fortpflanzt, etwa 480 Billionen, ein Theilchen, welches violettes Licht fortpflanzt, etwa 770 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Den äussersten Gränzen des Spectrums entsprechen die Wellenlängen von 0,00070 und 0,00035 Millimeter oder 440 Billionen und 880 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Dieses Verhältniss der äussersten Farbenstrahlen ist demnach dasjenige des Grundtons zur Oktave bei den Tonschwingungen.

Ein Blick auf Fig. 1. Pl. VI lehrt, dass alle Puncte der ersten dunkeln Räume, links und rechts von dem mittelsten Lichtstreifen, Wellen angehören, in welchen der Unterschied der Wege, von p und p' an gerechnet, einer halben Wellenlänge gleichkommt. Ueberhaupt fallen die hellen Fransen an die Stellen, für welche jener Gangunterschied eine gerade Anzahl halber Wellenlängen, d. i. eine beliebige Anzahl ganzer Wellenlängen beträgt, während die dunkeln Fransen den Puncten entsprechen, an

welchen der Unterschied der Wege eine ungerade halbe Wellenlänge ausmacht. Bei einer Franse der nämlichen Ordnung ist dieser Unterschied, in verschiedenen Abständen von den Spiegeln, also auch von p und p', ein constanter. Die Stellen, in welchen man die Fransen in diesen verschiedenen Abständen antrifft, liegen daher auf hyperbolischen Aesten und auch dies hat Fresnel durch seine mikrometrischen Messungen bestätigt.

Der Abstand $b'b''$ zweier Fransen ist $= \frac{\lambda}{sin.\ \alpha}$, wen λ die Wellenlänge bedeutet. Wenn alle Umstände sonst unverändert bleiben und man den Winkel der beiden Spiegel immer stumpfer werden lässt, so wird damit α immer kleiner und die Breite der Fransen nimmt folglich zu. Das beschränkte Feld, auf welchem die von beiden Spiegeln zurückgeworfenen Strahlen sich kreuzen, wird dann nur von wenigen Fransen eingenommen. Verkleinert man dagegen den Winkel der Spiegel, so treten immer mehr und feinere Fransen auf, bis sie endlich auch durch die Loupe nicht mehr getrennt gesehen werden können.

Bei Anwendung von weissem, anstatt von homogenem Lichte, decken sich zwar in der Mitte der centralen Franse die sämmtlichen Farbenstrahlen, allein wegen der grösseren Breite der rothen Streifen sind die ersten dunkeln Linien nach Innen roth gesäumt und auf der äusseren Seite bilden die der Mitte zunächst liegenden hellen Linien der brechbareren Strahlen einen blauen Saum. Noch mehr sieht man die Farben bei den beiden folgenden Fransen auseinander treten. Indessen sind diese Säume nur bei sehr stumpfem Winkel der Spiegel breit genug, um in die Augen zu fallen.

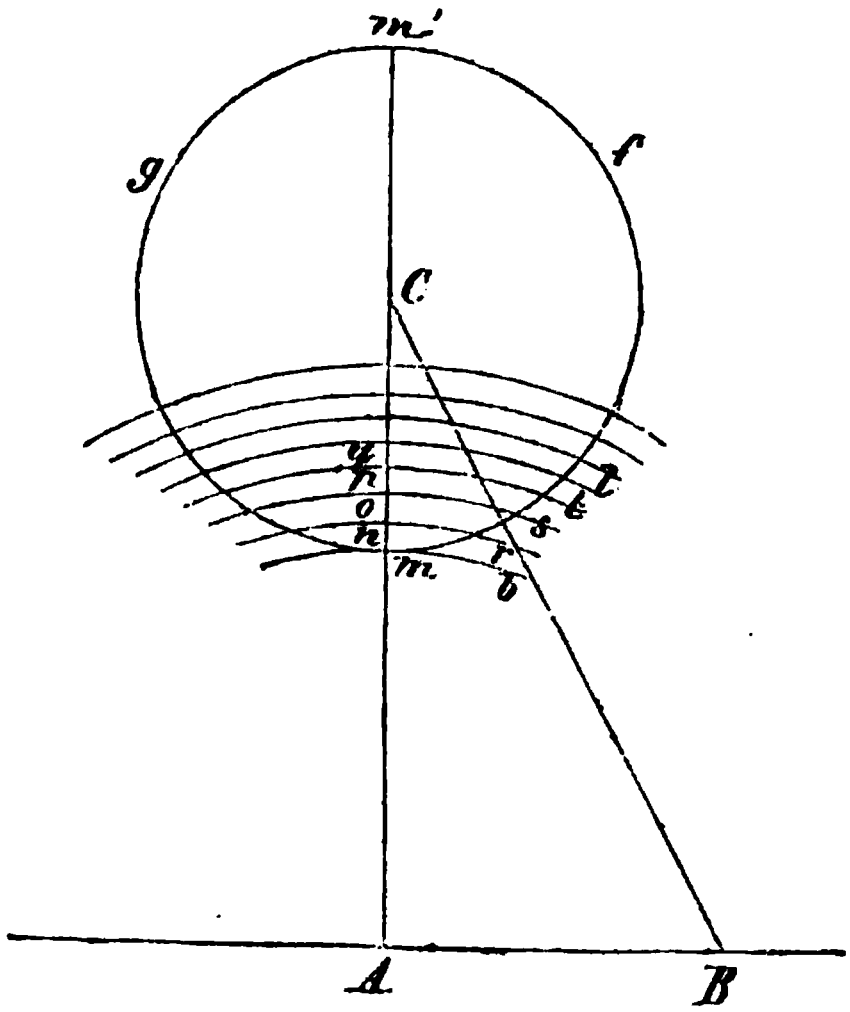
Statt der Fresnel'schen Spiegel kann man sich zur Darstellung der Interferenzerscheinung auch eines Doppelprismas bedienen, welches von drei ebenen brechenden Flächen begränzt ist, deren zwei sich unter einem sehr stumpfen, von zwei Rechten wenig verschiedenen, Winkel schneiden. Die Erscheinung, so wie sie sich vor einem der schmalen Lichtlinie entgegengestellten Doppelprisma zeigt, war bereits Newton bekannt.

577. Geradelinige Fortpflanzung und Beugung des Lichtes. — So lange das Licht sich ungehindert verbreiten kann, und weder Zurückwerfung noch Brechung eintritt, sieht man einen Lichtpunct immer in der Richtung der geraden Verbindungslinie mit dem Auge. Diese Erfahrung scheint auf den ersten Blick nicht mit der Annahme einer Verbreitung des Lichtes durch Wellen, in welchen jeder einzelne Punct wieder als ein neuer Wellenmittelpunct angesehen werden kann, zu harmoniren. Schon Huyghens hatte diese Betrachtungsweise, wonach jedes schwingende Aethertheilchen als der Mittelpunct einer sogenann-

ten Elementarwelle anzusehen ist, angewendet, indem er zugleich einer einzigen solchen Welle keine merkliche Lichtwirkung zuschrieb, und diese nur da annahm, wo der Aether unter der Einwirkung sehr vieler solcher in Uebereinstimmung schwingender Elementarwellen bewegt wird. Aus dieser Vorstellung folgt aber nicht nur die geradelinige Fortpflanzung des Lichtes bei ungehinderter Verbreitung, sondern sie erklärt auch gewisse Abweichungen von diesem Gesetze; und gerade diese Abweichungen, die zahlreichen zum Theil so prachtvollen Farbenerscheinungen, welche in der Nähe der geometrischen Schattengränze auftreten, wenn dem Fortgang des Lichtes Hindernisse durch undurchsichtige Körper in den Weg gestellt werden, bilden dadurch die überzeugendsten Beweise für das wirkliche Vorhandensein einer Wellenbewegung.

Nimmt man an, dass sich von dem leuchtenden Puncte C (Fig. 304), eine Welle $mfm'g$ ausgebreitet hat, so hat man, um die geradlinige Verbreitung von C nach A zu verstehen, von der Gesammtwirkung der kreisförmigen Welle auf den Punct A sich Rechenschaft zu geben. Die Kreise mb, nr, os, pt, ql . . seien von A aus mit Halbmessern beschrieben, welche successive um die Länge einer halben Lichtwelle wachsen, so übertragen sich die Bewegungs-Zustände der Wellentheile mr, rs, st, tl . . in abwechselnd entgegengesetzter Phase nach A. Da nun die in st und tl, sowie die in den weiter zurückliegenden Wellentheilen bewegten Aether-Massen immer mehr sich der Gleichheit nähern, so vernichten sie ihre Einwirkung auf den Punct A gegenseitig. Nur die in der Nähe der geraden Verbindungslinie CA liegenden Wellentheile, wie mr, enthalten ungleich mehr schwingende Masse; z. B. mr mehr als der folgende Wellentheil rs, so dass letzterer, nach A gelangend, die Bewegung von mr nur zum Theil

Fig. 304.



aufheben kann. Ein Gleiches findet für die Wellentheile in der Nähe von m' statt; daher A nur in der Richtung $AmCm'$ wirksames Licht empfängt. Ist die Schwingungsgeschwindigkeit, mit welcher die Bewegung von m, und nahezu auch von r, s, t, l.. in A ankommt $= v$, so ist die Intensität des von der vorderen Halbwelle in A anlangenden Lichtes

$$J = 2v^2 (mr - rs + st - tl + ld - dh + \ldots.)$$

Der Werth der aufeinander folgenden Differenzen wird in geringem Abstand von der Linie CA sehr klein, die Wirkung unmerklich. Wenn man daher einen undurchsichtigen Schirm von merklicher Breite in den Weg des Strahls CA stellt, so vermag kein Licht nach A zu dringen. Wird dagegen ein Draht von höchstens 1^{mm} Dicke parallel mit der Lichtlinie und in einiger Entfernung vor derselben, mitten durch den einfallenden Strahlenbüschel ausgespannt, und sein Schatten auf einer weissen Fläche aufgefangen, so erscheint letzterer schmäler, als er nach geometrischen Bestimmungen sein müsste. Im Innern desselben bemerkt man schwach leuchtende Streifen, getrennt durch dunkle Linien und sogar in der Mitte des Schattens ist ein leuchtender Streifen wahrnehmbar. Man nennt diese Erscheinung: **Beugung des Lichtes.**

Die helle Linie in der Mitte des Schattens entsteht dadurch, dass die an den Rändern des Drahts vorüberfliessenden Wellen auch in den Schatten eindringen und in der Mitte desselben mit gleichen Phasen und noch in hinreichender Stärke ankommen, um eine bemerkbare Lichtwirkung erzeugen zu können. Die dunklen Fransen fallen an die Orte, welche sich bei der algebraischen Summirung der Einwirkungen, aller rechts und links von dem Drahte vorübergehenden Wellentheile eine gegenseitige Aufhebung ergibt. In der That, wird das auf der einen Seite des Drahts vorübergehende Licht mittelst eines dunklen Schirms ganz zurückgehalten, so verschwinden die Streifen im Innern des Schattens, obschon doch nur die Hälfte des gebeugten Lichtes fortgenommen ward.

Anstatt das gebeugte Licht auf einer weissen Fläche aufzufangen, kann man es auch mit einer Loupe betrachten. Der Draht wird dann durch ein Haar ersetzt. Man sieht auf diese Weise noch eine grössere Anzahl heller und dunkler Fransen.

578. Erscheinungen von ähnlicher Art werden wahrgenommen, wenn Licht von einem Puncte oder einer Lichtlinie ausgehend, durch die feine Oeffnung eines undurchsichtigen Schirms in einen dunklen Raum eindringt. Gesetzt, das Licht sei homogen, es komme von einer sehr schmalen verticalen Spalte und gelange durch eine zweite in einigem Abstande dahinter befindliche ähnliche und ebenfalls vertikal gerichtete Spalte in den dunklen Raum.

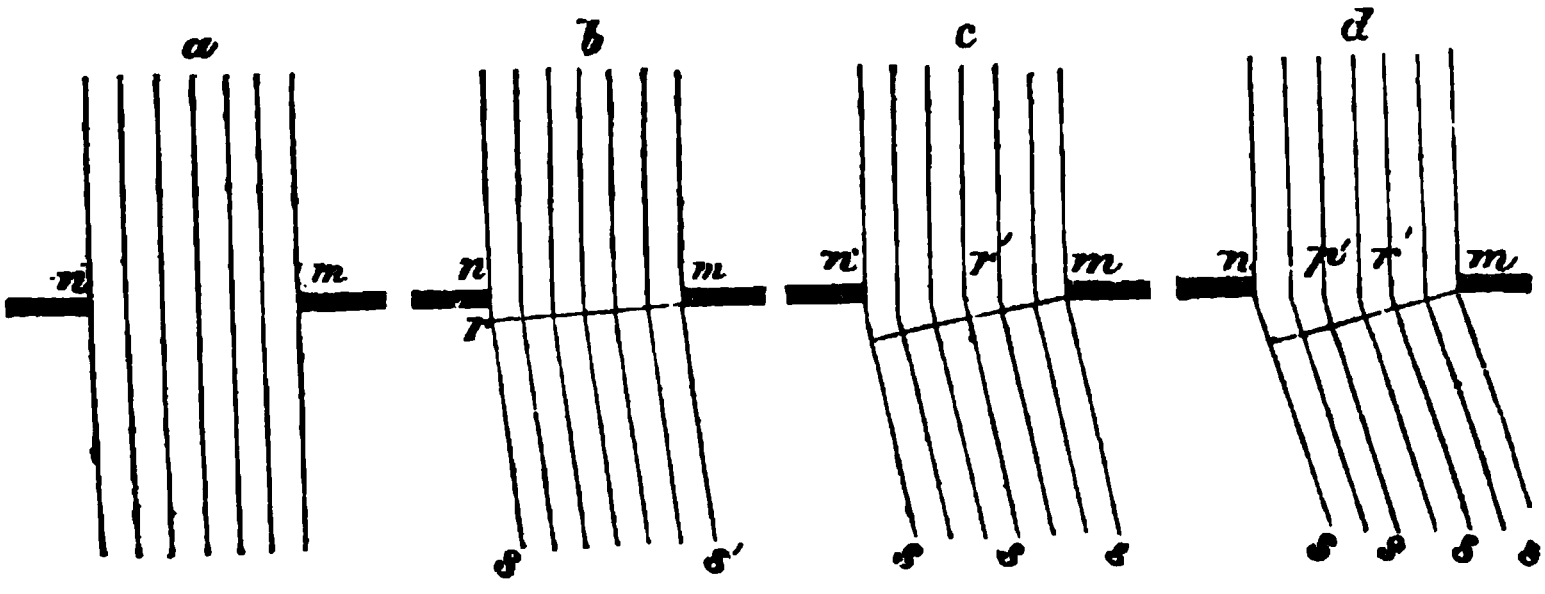
Stellt man in diesem eine weisse Tafel rechtwinklig gegen

den Weg des Lichtes, so bemerkt man ein mittleres helles Bild der Spalte, jedoch breiter, als es die geometrische Schattengränze bestimmt. Rechts und links folgen dann, durch dunkle Zwischenräume getrennt, eine Anzahl schmälerer Bilder, in gleichem Abstande und sämmtlich von gleicher Breite. Die Lichtstärke dieser Bilder, welche den Namen Beugungsspectra erhalten haben, nimmt von der Mitte aus rasch ab. Je brechbarer das Licht ist, in welchem man die Erscheinung sieht, desto enger rücken die Bilder zusammen. Die Abstände des nämlichen Seitenspectrums rechts und links, von einander oder von der Mitte, in rothem und in blauem Lichte betrachtet, verhalten sich, wie die Wellenlängen dieser Lichtgattungen.

Um theoretisch abzuleiten, wie gross an irgend einer Stelle der weissen Tafel die Lichtintensität sein muss, hat man die Gesammtwirkung aller Strahlen zu nehmen, welche von den verschiedenen Punkten der Spalte nach jener Stelle hingehen. Je weiter man die Tafel von der Spalte entfernt, desto weniger werden diese Strahlen gegen einander geneigt sein; sie würden sämmtlich parallel laufen, wenn die Tafel unendlich weit entfernt wäre. Gerade dieser Fall kommt aber in Betracht, wenn man die Spalte unmittelbar vor ein für Fernsehen angepasstes Auge setzt; nur die parallel von den verschiedenen Punkten der Spalte ausgehenden Strahlen kommen in einem Punkte der Netzhaut zur Interferenz. Dasselbe gilt, wenn man den Schirm mit der Spalte vor das Objectivglas eines Fernrohrs bringt; zudem sieht man die Erscheinung dann vergrössert und kann sie, wenn das Fernrohr mit einem Theilkreise verbunden ist, der Messung unterwerfen.

Es sei das Fernrohr auf eine entfernte erleuchtete Spalte gerichtet und so eingestellt, dass die Spalte scharf begrenzt erscheint. Ein undurchsichtiger Schirm werde vor das Objectivglas des Fernrohrs rechtwinklig gegen die Axe des Instrumentes und den Weg des Lichtes angebracht; so dass letzteres nur noch durch eine vertikale Spalte von geringer Breite in das Rohr gelangen kann. *m n* (Fig. 305) zeigt diese Spalte in vergrössertem

Fig. 305.



Massstabe. Betrachten wir nun jedes Aethertheilchen in dieser Spalte als Mittelpunct von Lichtwellen, oder was dasselbe ist, als Ausgangspunct von Strahlen. Diejenigen dieser Strahlen, welche, wie in Fig. 305 *a*, parallel mit der Axe des Instrumentes fortschreiten, schwingen in dem Puncte, in welchem sie durch die brechende Kraft des Objectivs vereinigt werden, mit einerlei Phase und summiren ihre Wirkung. Dies ist auch noch, wiewohl in

abnehmendem Grade, mit den Strahlen der Fall, welche unter einer geringen Neigung gegen die Axe in das Fernrohr treten. In Fig. 305 *b* ist die Neigung α so gross angenommen, dass der Randstrahl ns einen um eine halbe Wellenlänge nr grösseren Weg bis zur Vereinigungsstelle zurückzulegen hat, als der Randstrahl ms. Beide Strahlen compensiren ihre Wirkung. Die übrigen Strahlen des Büschels haben einen so grossen Gangunterschied nicht, es wird daher eine merkliche Lichtwirkung auch in dieser Richtung wahrgenommen und es erklärt sich in dieser Weise die grössere Breite des mittleren Bildes. Bei einer Neigung der Strahlen, wie in Fig. 305 *c*, bei welcher der Randstrahl ns eine ganze Wellenlänge gegen ms, also eine halbe Wellenlänge gegen den mittleren Strahl $r's$ zurück ist, findet jeder Strahl zwischen ms und $r's$ einen entsprechenden zwischen $r's$ und ns, welcher seine Wirkung vollkommen aufhebt, daher tritt in dieser Richtung das erste Minimum der Lichtstärke ein. In Fig. 305, *d* ist der Randstrahl ns um drei halbe Wellenlängen hinter ms zurück. Die Strahlen zwischen ms und $p's$ finden zwischen $p's$ und $r's$ entsprechende, welche ihre Wirkung vollkommen aufheben, und es bleiben nur die Strahlen zwischen $r's$ und ns wirksam zurück. Nimmt man an, dass die kleinen Bewegungen der Aethertheilchen sich an der Vereinigungsstelle der Strahlen gerade summiren, die Intensität des Lichtes aber dem Quadrate der Schwingungsweite proportional ist, so sieht man ein, dass das erste seitliche Bild, zu welchem nur noch ein Drittel aller durch die Spalte dringenden Oscillationen beitragen, Fig. 305 *d* neunmal schwächer erleuchtet ist, als die Stellen, welche von dem in der Richtung Fig. 305 *b* durch die Spalte gehenden Lichte getroffen werden.

Bei einer Neigung α des parallelen Strahlenbüschels beträgt der Gangunterschied der Randstrahlen, wie man aus der Figur entnimmt, $mn \,.\, sin.\, \alpha$ Die seitlichen Beugungsbilder erblickt man nach den Richtungen, für welche jene Grösse einer ungeraden Zahl halber Wellenlängen gleich ist, so dass man die Gleichung hat $mn \,.\, sin.\, \alpha = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$, oder $sin.\, \alpha = \frac{(2n+1)\lambda}{2\,.\,mn}$, wenn λ die Länge einer Welle bedeutet. Man sieht hieraus, dass die Bilder um so weiter auseinander rücken und um so breiter ausfallen, je schmaler die angewendete Spalte ist. Für das erste seitliche Bild ist $sin.\, \alpha = \frac{3\lambda}{2\,.\,mn}$ oder $\lambda = \frac{2\,.\,mn.\, sin.\, \alpha}{3}$. Kennt man daher die Breite mn der Spalte und misst für die verschiedenen Farbenstrahlen die Werthe von α, so ergeben sich daraus die Wellenlängen.

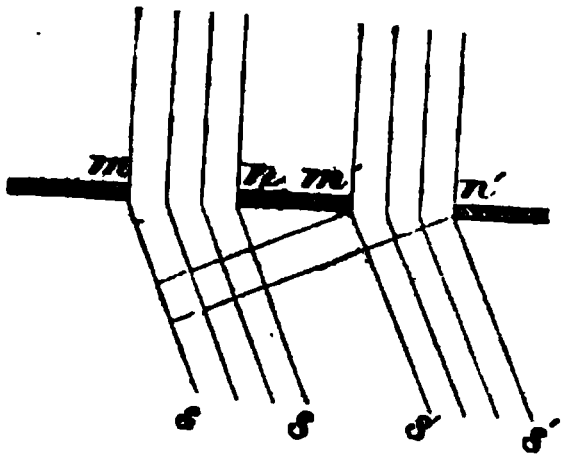
Für den ersten dunkeln Zwischenraum ist $sin.\, \alpha = \frac{\lambda}{mn}$. Wenn daher die Breite mn kleiner als eine Lichtwelle wäre, würde das mittlere, helle Bild allein sichtbar sein.

Es ist nunmehr leicht einzusehen, wie die Erscheinung sich ändern wird, wenn man weisses anstatt homogenem Licht anwendet. Das mittlere Bild ist dann beiderseits roth gesäumt, die ersten seitlichen Bilder sind an dem der Mitte zugekehrten Rande blauviolett, an dem äussern Rande roth gesäumt und begreiflicher Weise müssen die Farben um so homogener werden, je feiner die angewendete Lichtlinie und je enger die beugende Spalte gewählt wird. Freilich wird die Erscheinung zugleich auch lichtschwächer.

Wenn man zwei beugende Spalten von gleicher Breite parallel nebeneinander setzt, so ist die Erscheinung im Allgemeinen gerade so angeordnet, wie bei Anwendung einer Spalte, nur ist die Intensität entsprechend vergrössert. Man findet indessen die Beugungsbilder, ebenso wie das mittlere Bild noch ausserdem von dunkeln Fransen durchschnitten, den Stellen entsprechend, an welchen das durch eine Oeffnung dringende Licht zwar für sich nicht aufgehoben würde, wo dagegen die durch beide Oeffnungen drin-

genden Lichtbüschel einen hinreichenden Gangunterschied haben, um ihre Wirkung gegenseitig zu compensiren. Diess ist immer da der Fall, wo der Gangunterschied von ms und $m's'$, (Fig. 306) einer ungeraden Anzahl halber Wellenlängen gleich ist. Da der Gangunterschied durch $mm' \sin. \alpha$ ausgedrückt ist, so sieht man, dass der Ort der sekundären Fransen von der Summe der Breite der Oeffnung und des Zwischenraums zwischen beiden Oeffnungen abhängig ist. Je weiter die Oeffnungen auseinander rücken, desto feinere und zahlreichere Fransen durchschneiden die Spectra erster Klasse.

Fig. 306.



Die Zahl der Stellen, an welchen völlige Aufhebung des Lichtes eintritt, wächst mit der Anzahl der nebeneinander angebrachten Oeffnungen. **Fraunhofer** hat zuerst die Beugungserscheinungen, wie sie durch eine sehr grosse Anzahl paralleler, gleichbreiter und durch gleiche Zwischenräume getrennter Spalten, durch sogenannte **Gitter** gesehen werden, näher studirt. Er erhielt solche Gitter durch Einziehen feinen Drahtes in die Gänge zweier ganz gleichen Schrauben oder durch Reissen von Linien in den Gold- oder Tuschüberzug, welcher auf Spiegelplättchen angebracht war; die feinsten, bis zu 500 Spalten auf die Breite eines Millimeters durch Einritzen von matten Strichen mittelst feiner Diamantsplitter auf Spiegelglas. Es ist begreiflich, dass durch solche Gitter, bei Anwendung homogenen Lichtes, nur die unveränderten Bilder der angewendeten Lichtlinie in allen den Richtungen gesehen werden, in welchen der Gangunterschied der entsprechenden Randstrahlen zweier nächsten Oeffnungen, also $mm' \sin. \alpha$ (Fig. 306) irgend eine Anzahl ganzer Wellenlängen beträgt; wenn man davon noch die Richtungen abrechnet, nach welchen die durch die einzelnen Oeffnungen dringenden Lichtbüschel sich in sich aufheben. Bei jeder, wenn auch geringen Abweichung von jenen Werthen von α findet sich bei der grossen Anzahl von Spalten zu jeder beliebigen leicht eine andere, so gelegen, dass die aus beiden dringenden Lichtbüschel sich aufheben. Beträgt der Gangunterschied der Randstrahlen zweier nächsten Spalten z. B. $\lambda + \frac{\lambda}{n}$, so braucht man nur um $\frac{n}{2}$ Spalten weiter zu gehen, um einen Gangunterschied von $(n + 1)\frac{\lambda}{2}$ zu erhalten.

Bei sehr feinen Spalten ist der Unterschied der Richtungen, nach welchen man die Beugungsbilder der verschiedenen Farben erblickt, so gross, dass diese bei Anwendung weissen Lichtes in grosser Reinheit auseinandertreten. Im Sonnenlicht sieht man die bekannten Fraunhofer'schen Linien (No. 558) schon bei 50 Spalten auf den Millimeter, und man hat hiermit das beste Mittel, welches denkbar ist, um die Wellenlängen bestimmter Farbenstrahlen mit Genauigkeit zu messen. Man stellt zu diesem Zwecke den Vertikalfaden des Fernrohrs auf eine bestimmte Linie im ersten Beugungsbilde eines Gitters links, dann auf die nämliche Linie im ersten Beugungsbilde rechts ein. Ist die Hälfte des hierbei vom Fernrohr beschriebenen Winkels α, und ist die Breite b einer Spalte sammt Zwischenraum aus der Anfertigung des mikrometrischen Gitters bekannt, so ist die Wellenlänge des betreffenden Strahles $\lambda = b \sin. \alpha$. Diese Formel bedarf noch einer Correction, wenn die Grösse der seitlichen Verschiebung des Fernrohrs bei der Messung gegen die Entfernung der Lichtquelle, von demselben nicht als verschwindend angesehen werden darf. Folgendes sind die von **Fraunhofer** gefundenen

Werthe der Wellenlängen in der Luft an den von ihm benannten Stellen des Spectrums, ausgedrückt in Millimetern:

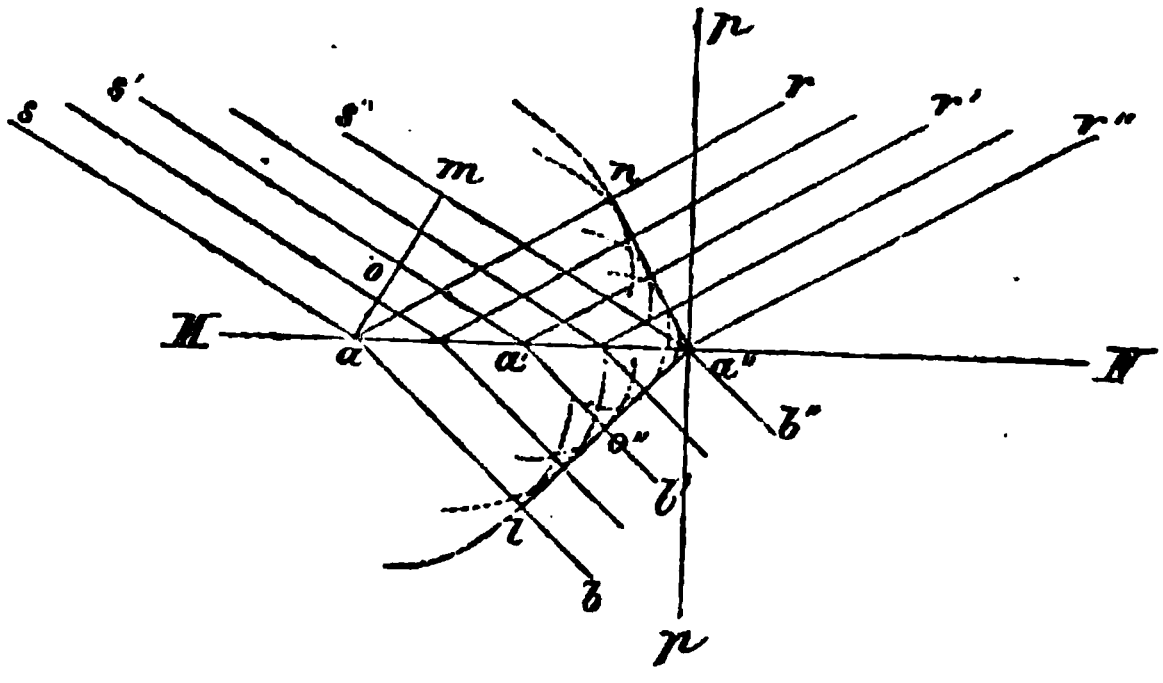
B	0,000688	F	0,000484
C	0,000656	G	0,000429
D	0,000589	H	0,000393
E	0,000526		

Die Beugungserscheinung durch eine kreisförmige Oeffnung besteht in einem System concentrischer Ringe. Diese, wie die ganze zahllose Menge von Beugungserscheinungen, welche durch mannigfach gruppirte Oeffnungen entstehen, und, wie namentlich diejenigen gekreuzter Gitter, in weissem Lichte eine grosse Farbenpracht entwickeln, erklären sich aus den bisher angewendeten Grundsätzen in befriedigender Weise.

Feingeritzte Oberflächen zeigen auch im reflectirten Lichte lebhafte Gitterfarben. Das Farbenspiel der Perlmutter beruht auf diesem Grunde.

579. Reflexion und Brechung. — Die vibrirende Bewegung, welche in der Lichtquelle entsteht, überträgt sich auf den angränzenden Aether, und indem eine Aetherschicht die aufgenommene Bewegung der folgenden Schichte mittheilt, kommt sie selbst zur Ruhe, gerade wie diess bei der Fortpflanzung des Stosses in einer Reihe ganz gleicher elastischer Kugeln oder bei der Verbreitung der Schallwellen durch die Luft oder in andern elastischen Körpern der Fall ist. Jede solche Bewegung pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit fort, welche durch die Quadratwurzel aus der Elasticität, dividirt durch die Dichte des elastischen Mittels, ausgedrückt ist. Weder die Elasticität, noch die Dichte des Aethers kann unmittelbar gemessen werden, allein der Quotient beider Grössen, für die Beschaffenheit des Aethers im leeren Raume, ergibt sich aus der bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes. Wenn ein Lichtstrahl bei dem Uebergang aus dem leeren Raume oder auch aus der Luft in irgend eine durchsichtige Substanz seine Richtung ändert, (Brechung) so darf man dieses als einen Beweis ansehen, dass die Geschwindigkeit der Wellenverbreitung in dem zweiten Mittel eine andere ist.

Fig. 307.



Nehmen wir an, dass ein Bündel paralleler Lichtstrahlen (Fig. 307) $s\,a$, $s'\,a'$, $s''\,a''$, oder die ihnen angehörige ebene Welle

am, auf die Gränzfläche MN zweier durchsichtiger Körper trifft, so werden von den Puncten a, a', a'' aus Elementarwellen sich sowohl im ersten, als im zweiten Mittel verbreiten. Im ersten Mittel wird diese Verbreitung mit der nämlichen Geschwindigkeit geschehen, mit welcher die einfallende Welle am fortging; im zweiten Mittel nehmen wir die Geschwindigkeit verschieden z. B. zu $^3/_4$ von derjenigen der einfallenden Welle an. Während der Punct m der letzteren nach a'' gelangt, hat sich von a aus eine Welle $an = a''m$ ins erste, eine Welle $al = {}^3/_4\ a''m$ ins zweite Mittel fortgepflanzt; von a' aus ist eine Welle $a'o' = a''m - a'o$ ins erste, eine Welle $a'o'' = {}^3/_4\ (a''m - a'o)$ ins zweite Mittel fortgegangen. In gleicher Weise berechnet man die Halbmesser der Elementarwellen für alle zwischen a und a'' liegenden Puncte. Wirksames Licht kommt aber nur da zu Stande, wo diese Wellen vereint zur Bewegung des Aethers beitragen, also im ersten Mittel längs der alle elementaren Wellen berührenden Linie $a''n$, im zweiten Mittel längs $a''l$. Die erstere heisst die zurückgeworfene, die zweite die gebrochene ebene Welle. Rechtwinklig zu diesen Wellenoberflächen sind die zurückgeworfenen und gebrochenen Strahlen gerichtet.

Was die zurückgeworfene Welle betrifft, so steht sie rechtwinklig gegen die Einfallsebene und da die Dreiecke $aa''m$ und $aa''n$ beide rechtwinklig sind, die Seite aa'' gemeinschaftlich haben und ausserdem noch $a''m = an$ ist, so sind auch die Winkel moa'' und naa'' gleich. Die zurückgeworfenen Strahlen liegen daher in der Einfallsebene und machen mit MN, also auch mit dem darauf gefällten Lothe pp gleiche Winkel.

Die gebrochenen Strahlen liegen zwar auch in der Einfallsebene, allein sie machen mit dem Lothe einen kleineren Winkel, als die einfallenden. Man sieht, dass die stärkere Brechkraft eines Mittels durch eine geringere Geschwindigkeit des Lichtes in demselben bedingt erscheint. Nimmt man aa'' zur Einheit, so ist $a''m$ der Sinus von maa'', welcher dem Einfallswinkel $ma''p$ gleich ist, und al der Sinus von $la''a$, welcher dem Brechungswinkel $pa''b''$ gleich ist. Diese beiden Sinusse verhalten sich also, wie $a''m : a''l$, oder wie die Geschwindigkeiten des Lichts in beiden Mitteln. So lange sich diese nicht ändern, wird auch das Verhältniss der Sinusse von Einfall- und Brechungswinkel constant sein, wie dies Snellius als den einfachen Ausdruck des Brechungsgesetzes gefunden hat*).

---

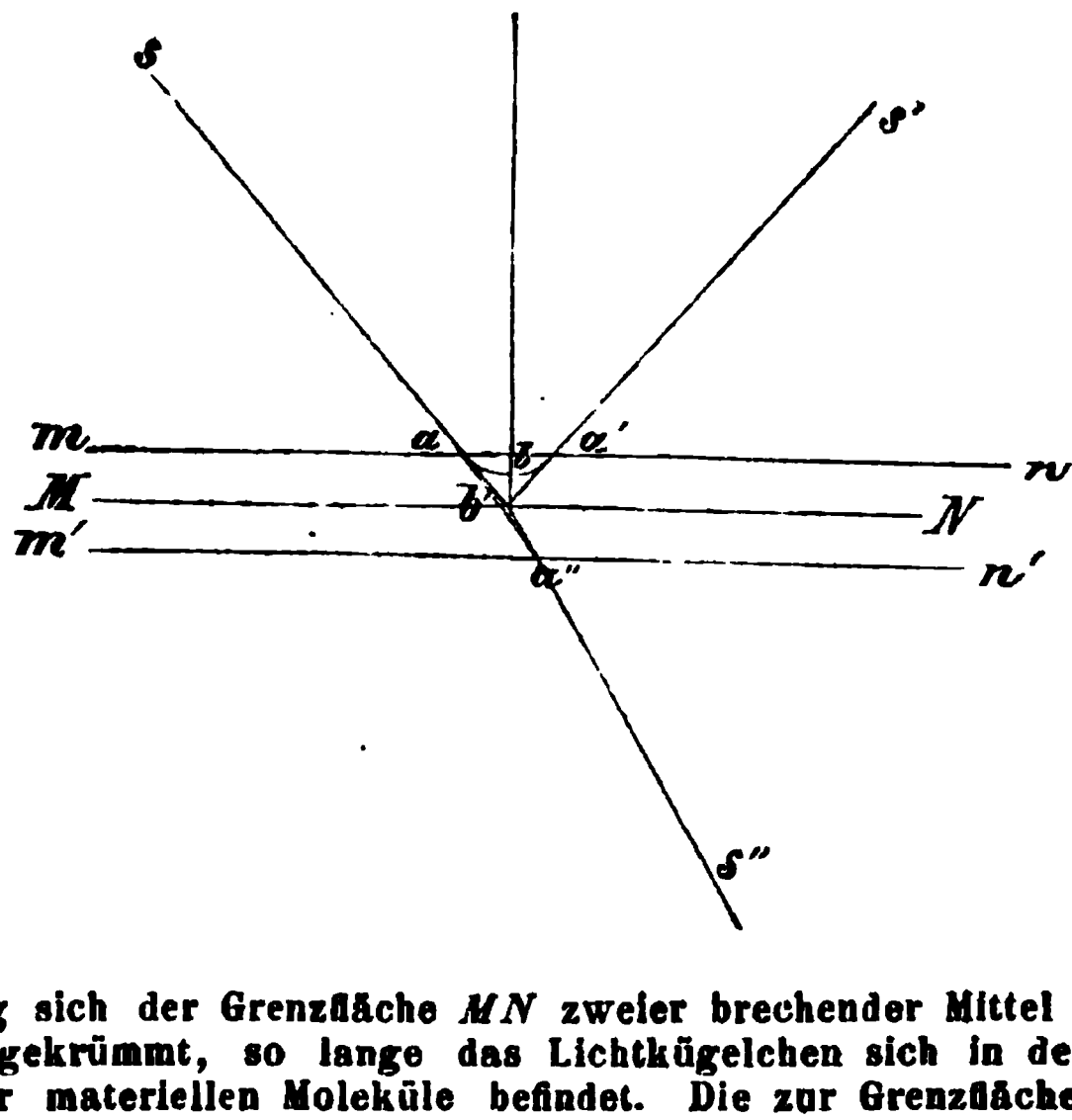
*) Newton hatte angenommen, dass die Fortpflanzung des Lichtes durch eigenthümliche feine Körperchen geschehe, welche mit grosser Geschwindigkeit von den Lichtquellen ausgeschleudert würden. In die Atome der materiellen Substanzen verlegte er den Sitz zweier auf die Lichtkügelchen wirkenden Kräfte, einer abstossenden und einer anziehenden Kraft.

Die Zerlegung des Lichtes in Farben, welche mit der Brechung stets verbunden ist, beweisst, dass das Verhältniss in welchem die Geschwindigkeit der Wellenverbreitung bei dem Uebergang in ein stärker brechendes

---

Die Lichtkügelchen selbst aber sollten periodischen Veränderungen unterworfen sein, welche sie abwechselnd für die Abstossung oder für die Anziehung geeigneter machten. In Fig. 308 bezeichnet $a\,b\,a'$ die Bahn eines Lichtkügelchens, welches in dem Strahl $s\,a$ und im Zustand der leichteren

Fig. 308.



Abstossung sich der Grenzfläche MN zweier brechender Mittel nähert. Die Bahn ist gekrümmt, so lange das Lichtkügelchen sich in der Wirkungssphäre der materiellen Moleküle befindet. Die zur Grenzfläche MN rechtwinklige Composante der Geschwindigkeit von p wird aufgehoben und dann während der Bewegung von b nach a' durch die fortwirkende Abstossung wieder in gleicher Stärke in entgegengesetztem Sinne hergestellt. Die mit MN parallele Seitengeschwindigkeit ist unverändert geblieben, daher das Lichtkügelchen mit unveränderter Geschwindigkeit und unter gleichem Winkel, unter welchem es einfiel auch zurückgeworfen wurde. — Befindet sich das Theilchen dagegen, wenn es in die Wirkungssphäre $m\,n$ der Materie tritt, im Zustand grösserer Empfänglichkeit für die Anziehung, so beschreibt es unter dem Einflusse dieser Kraft eine krumme Bahn $a\,b'\,a''$, indem seine zu MN rechtwinklige Seitengeschwindigkeit wächst, bis an der Grenze $m'n'$ die Anziehung nach allen Seiten gleich geworden ist. Es geht dann in gerader Linie $a''s''$ mit vermehrter Geschwindigkeit weiter. Da die Zunahme an Geschwindigkeit, welche ein bewegtes Theilchen unter dem Einflusse einer beschleunigenden Kraft erleidet, nur von dem Wege abhängig ist, welchen das Theilchen in Richtung der Kraft zurücklegt, da ferner dieser Weg bei der Lichtbrechung immer gleich der Dicke der Schichte $m\,n\,m'\,n'$, also unter allen Einfallswinkeln der nämliche ist, so folgt, dass auch das Verhältniss der Geschwindigkeiten im ersten und zweiten Mittel für alle Einfallswinkel ein gleiches ist. Auch hieraus lässt sich daher das Gesetz von Snellius ableiten; allein man bemerkt sogleich, dass, während die Vibrationshypothese eine geringere Geschwindigkeit in stärker brechen-

Mittel sich vermindert, für die verschiedenen Farbenstrahlen ein ungleiches ist. Wenn man auch einsieht, dass diese Ungleichheit durch die Einwirkung der materiellen Moleküle bedingt sein muss, so sind doch die mechanischen Gründe der Erscheinung keineswegs aufgeklärt. Man hat eine einfache Beziehung zwischen den Wellenlängen und den Brechungsverhältnissen der Farbenstrahlen noch nicht aufzufinden vermocht. Uebrigens verkürzen sich die Wellenlängen beim Uebergang aus der Luft in ein stärker brechendes Mittel im Verhältniss des Brechungscoefficienten. Für den Strahl B im Roth ist nach S. 620 die Wellenlänge in der Luft $\lambda = 0{,}000688$ Millimeter, das Brechungsverhältniss dieses Strahls für den Uebergang in Flintglas ist $n = 1{,}627749$, daher die Wellenlänge im Flintglase: $\lambda' = \frac{\lambda}{n} = 0{,}000423$ Millimeter.

Bei dem Uebergang aus einem stärker brechenden Mittel in ein andres von geringerer Brechkraft tritt die Grenze der möglichen Brechung dann ein, wenn die von a (Fig. 306) in das zweite Mittel gegangene Welle einen Halbmesser grösser als aa'' angenommen hat, bis der Punct m der einfallenden ebenen Welle nach a'' gelangt. Es ist dann keine gegenseitige Unterstützung der Bewegung in diesen Elementarwellen mehr möglich, da jede folgende die vorhergehende nicht einholt; es tritt in diesem Falle totale Reflexion ein, (No. 535).

Polarisation des Lichtes.

580. Ein Lichtstrahl, welcher auf ein natürliches Spaltungsstück von durchsichtigem Kalkspath trifft, wird in zwei Strahlen getheilt. Huyghens hatte bemerkt, dass diese beiden aus dem Kalkspathe hervorkommenden Strahlen sich nicht mehr wie unmittelbar von der Quelle kommendes Licht verhielten, sondern gleichsam Seiten von verschiedenen Eigenschaften angenommen hatten. Wurde ein zweites Spaltungsstück von Kalkspath dem ersteren mit seinen entsprechenden Kanten parallel gehalten, so

---

den Mitteln voraussetzt, nach der Newton'schen Betrachtungsweise gerade das Gegentheil folgt. Man hat in neuerer Zeit (Pogg. Ann. LXXXI., 434. LXXXII., 124) durch directe Messung der Geschwindigkeit des Lichtes in Luft und Wasser den entscheidenden Beweis für die Unrichtigkeit der Newton'schen Hypothese erhalten. Diese Messungen erfordern jedoch einen äusserst schwierig darzustellenden, kostbaren Apparat. Weit einfacher kann man jene entscheidende Thatsache constatiren, wenn man, wie Arago dies zuerst ausführte, in den Weg eines der beiden Lichtbüschel, welche an ihrer Durchkreuzungsstelle Interferenzfransen bilden, ein dünnes Blättchen aus einem stärker brechenden Mittel, etwa aus Glas oder Glimmer einschiebt. Ist die Geschwindigkeit des Lichtes in diesem Blättchen eine andre, als in der Luft, so müssen die Orte gleichen Gangunterschiedes, d. h. die Interferenzstreifen, ihre Lage ändern. Da man sie nun in jedem solchen Falle nach der Seite hin rücken sieht, auf welcher das Blättchen eingeschoben wurde, so beweist dies, dass das Licht in stärker brechenden Mitteln in der That eine Verzögerung erleidet, also sich langsamer bewegt.

wurde jeder der beiden aus dem ersteren hervorkommenden Strahlen nicht weiter gespalten; das nämliche fand statt, wenn man einen der beiden Kalkspathe um die Gesichtslinie als Axe um einen rechten Winkel drehte. In jeder andern Lage erblickte man vier Bilder. Diese eigenthümliche Veränderung in den Eigenschaften eines Lichtstrahls zog erst dann die Aufmerksamkeit wieder auf sich, nachdem Malus im Jahre 1810 zufällig entdeckt hatte, dass Sonnenstrahlen, welche von gegenüberliegenden Fensterscheiben zurückgeworfen waren, durch ein Stück Kalkspath betrachtet, fast ganz die nämlichen Eigenschaften darboten, wie ein Strahl, welcher vorher schon durch Kalkspath gegangen war. Eine nähere Untersuchung führte zu dem merkwürdigen Resultate, dass Licht, welches von gewöhnlichem Glase unter einem Winkel von 56° zurückgeworfen wurde, von einer gleichen Glasplatte und unter dem nämlichen Einfallswinkel nicht mehr zurückgeworfen wird, wenn die Einfallsebene am zweiten Spiegel einen rechten Winkel mit derjenigen der ersten Zurückwerfung bildet.

Fig. 309.

Der von Nörrenberg construirte Apparat (Fig. 309) ist vorzüglich geeignet, die hierher gehörigen Erscheinungen zu zeigen. Man stellt ihn so auf, dass ein Strahl *ab*, am besten von weissen Wolken ausgehend, unter 56° auf die Glasplatte *A* fällt. Er wird hier zurückgeworfen, geht dann nach dem horizontalen Metallspiegel *c*, von welchem er, ohne in seinen Eigenschaften verändert worden zu sein, senkrecht aufwärts nach dem Spiegel *B* gesendet wird, welchen man am besten aus schwarzem Glase bestehen lässt.

Wie dieser Spiegel in der Figur gezeichnet ist, stehen die Einfallsebenen des Strahls an beiden Spiegeln rechtwinklig gegeneinander, das kreisförmige Feld, welches die beiden Durchbrechungen der horizontalen Scheiben des Apparates offen lassen, erscheint

völlig dunkel. So wie man aber den oberen Spiegel sammt seinem ringförmigen Fusse dreht, indem man den Einfallswinkel ungeändert lässt, beginnt das Feld hell zu werden und erreicht seine grösste Lichtstärke, wenn die Einfallsebenen an beiden Spiegeln parallel gerichtet sind. Der Strahl hat demnach durch die Zurückwerfung an der unteren Platte nach zu einander rechtwinkligen Richtungen verschiedene Eigenschaften angenommen. Man legte, von der Newton'schen Vorstellung ausgehend, den Lichtkügelchen verschiedenartige Pole bei, und nahm an, dass diese bei der Zurückwerfung am unteren Spiegel parallel gerichtet würden, so dass der Strahl nur auf zwei gegenüberliegenden Seiten für die Abstossung der Materie oder die Zurückwerfung empfänglich sei. Der Strahl wurde demnach, zum Unterschied von gewöhnlichem, von der Quelle kommendem Lichte, ein polarisirter Lichtstrahl, der Einfallswinkel, unter welchem er die veränderte Eigenschaft möglichst vollständig annimmt, der Polarisationswinkel, und die Einfallsebene des Strahls am unteren (Polarisations-) Spiegel, Polarisationsebene genannt.

Die Reflexion ist übrigens nicht das einzige und auch nicht das bequemste und beste Mittel, um polarisirtes Licht darzustellen. Wenn man den in der Verlängerung von *a b* an der Polarisationsplatte des Nörrenberg'schen Apparates durchgehenden Antheil dieses Strahls mittelst eines besondern Spiegels auf seinen Polarisationszustand untersucht, so findet man den Strahl von gewöhnlichem Lichte zwar verschieden, indem er je nach der Richtung der Einfallsebene des Zerlegungsspiegels eine ungleich starke Reflexion erfährt; allein in keiner Lage bleibt diese ganz aus; das Licht ist theilweise polarisirt. Man kann indessen diese theilweise Polarisation zu einer fast ganz vollständigen steigern, wenn man eine grosse Zahl paralleler Glasflächen hintereinander anwendet. Je dünner und durchsichtiger diese Platten sind, desto mehr brechende Flächen kann man anwenden, ohne doch gleichzeitig allzuviel Licht durch Absorption im Innern der Glasmasse zu verlieren.

Eine Untersuchung der beiden aus dem Kalkspath tretenden Strahlen lehrt, dass sie beide, der eine rechtwinklig gegen den andern, polarisirt sind. Jeder durchsichtige Krystall, welcher nicht zum regulären System gehört, zeigt dieselbe Erscheinung, aber unter allen hat der Turmalin allein die Eigenschaft, schon in ziemlich dünnen Platten den einen Strahl völlig zu absorbiren. Eine Turmalinplatte, deren parallele Flächen nach der Hauptaxe des Krystalls gerichtet sind, ist daher zur Darstellung polarisirten Lichtes vorzüglich brauchbar.

Um die beiden polarisirten Strahlen des Kalkspaths einzeln benutzen zu können, trennt man dieselben, indem man ein Kalk-

spathstück prismatisch zuschleift, etwa die brechende Kante parallel der Hauptaxe des Krystalls, und dasselbe zur Vermeidung der allzustarken Ablenkung und Farbenzerstreuung mit einem Glasprisma achromatisirt.

Man sieht dann die beiden rechtwinklig gegeneinander polarisirten Bilder gleichzeitig nebeneinander, oder auch noch theilweise ineinander greifend. Wo sich beide Bilder decken, ergänzen sich die polarisirten Strahlen zu natürlichem Lichte.

Um den einen Strahl ganz aus dem Gesichtsfelde zu bringen, ist in dem sogenannten Nikol'schen Prisma die totale Reflexion in einer geschickten Weise benutzt. Ein Kalkspathstück (Fig. 310) bei *a b* und *c d* so abgeschliffen, dass diese Flächen mit den natürlichen Kanten *a c* und *b d* einen Winkel von 68° bilden, wird nach *b c* rechtwinklig gegen *c d* durchgeschnitten. Die Schnittflächen werden geschliffen und dann mit einer Schichte Canadabalsam wieder aufeinander gekittet. Da das Brechungsverhältniss dieses Harzes die Mitte hält zwischen den Brechungsverhältnissen der beiden Strahlen, welche durch den Kalkspath parallel mit *a c* gehen, so dringt der stärker gebrochene nicht in die Harzschichte ein, sondern erleidet an der Trennungsfläche *b c* die totale Zurückwerfung und wird an den geschwärzten Aussenflächen des Nikol'schen Prismas absorbirt. Zwei gekreuzte, d. h. mit ihren Polarisationsebenen rechtwinklig gegeneinander gestellte Nikols löschen das Licht vollständig aus. — Zwei gekreuzte Turmalinplatten zeigen genau dasselbe Verhalten. Der Turmalin hat übrigens den Nachtheil, dass er auch das durchgehende polarisirte Licht bedeutend schwächt und zudem grün oder braun färbt, während die Nikol'schen Prismen in beinahe vollständiger Durchsichtigkeit dargestellt werden können und das Licht niemals färben.

Fig. 310.

Nachdem Arago und Fresnel im Jahre 1816 die Wahrnehmung gemacht hatten, dass rechtwinklig gegeneinander polarisirte Strahlen an ihrer Durchkreuzungsstelle keine Interferenzfransen erzeugen, während diese sogleich auftreten, wenn man die Polarisationsebenen beider Strahlen parallel richtet, gelangte Fresnel zu der Ansicht, welche Young schon vorher in einer Abhandlung über die Farben in Krystallplättchen niedergelegt hatte, dass die Schwingungen des Aethers, welche einen Lichteindruck hervorbringen, rechtwinklig gegen die Richtung des Strahles stattfinden. Die Bewegung überträgt sich hiernach, von der Quelle ausgehend, vermöge der Repulsion der Aetherthellchen von einer Aetherschicht zur andern und jede Schichte vollendet eine volle Oscillation, während eine Welle durch den Ort geht, ganz ähnlich wie bei einer Welle, welche sich einem gespannten Seile entlang bewegt

Nimmt man an, dass in einem gewöhnlichen, von der Quelle kommenden Lichtstrahl die Oscillationen des Aethers vermöge der unregelmässigen Erzitterungen der leuchtenden Theilchen in kurz aufeinander folgen-

den Zeiten in allen möglichen Richtungen stattfinden, welche auf der Richtung des Strahles rechtwinklig stehen, dass dagegen in einem vollständig polarisirten Strahle die Schwingungen sämmtlich einer durch den Strahl gelegten Ebene parallel gerichtet sind, so begreift es sich, wie ein polarisirter Strahl verschiedene Seiten haben kann, und warum rechtwinklig aufeinander polarisirte Strahlen sich nicht auszulöschen vermögen.

Ein polarisirter Strahl, in welchem die Schwingungen rechtwinklig gegen die Einfallsebene, also parallel der zurückwerfenden Fläche gerichtet sind, kann, an der Grenzfläche beider Mittel angelangt, in diesen nur solche Schwingungen erregen, welche ebenfalls parallel zur Trennungsfläche gerichtet sind. Die Bewegung kann sich unter diesen Umständen nur dann ganz ins zweite Mittel übertragen, wenn dieses den nämlichen Brechungscoefficienten hat, wie das erste Mittel. Parallel mit der zurückwerfenden Fläche schwingendes Licht kann daher unter keinem Einfallswinkel vollkommen ausgelöscht werden. Aus dieser Betrachtung folgt, dass die Schwingungen des an der untern Platte des Nörrenberg'schen Apparates polarisirten Strahles senkrecht zur Einfallsebene (oder zur Polarisationsebene) gerichtet sind. — Vergleicht man hiermit das Verhalten der Turmalinplatten, so ergibt sich, dass diese nur von Schwingungen durchdrungen werden, welche parallel der Axe des Krystalls stattfinden. Damit stimmt die Beobachtung sehr gut überein, dass senkrecht zur Axe geschnittene Turmalinplatten schon in äusserst geringer Dicke völlig undurchsichtig sind, während Platten aus dem nämlichen Krystalle parallel der Axe geschnitten noch bei weit grösserer Dicke das Licht durchlassen. — Der Strahl, welcher das Nikol'sche Prisma durchdringt, enthält nur Schwingungen in der Ebene *abcd* der Figur 310.

Ein Strahl, dessen Schwingungen sämmtlich parallel einer durch seine Richtung gelegten Ebene erfolgen, heisst ein geradelinig polarisirter, zum Unterschied von anderen Schwingungszuständen, welche wir sogleich näher beschreiben werden.

581. Zusammensetzung polarisirter Strahlen. Keine optische Erscheinung hat bis jetzt der Annahme von Transversalschwingungen widersprochen. Jede Veränderung, welche polarisirtes oder gewöhnliches Licht bei der Zurückwerfung und Brechung erfährt, lässt sich aus der Zusammensetzung solcher Schwingungen nach dem Satz des Parallelogrammes der Geschwindigkeiten erläutern.

Wenn zwei in der nämlichen Ebene liegende Schwingungen von gleicher Dauer (also gleichfarbigem Lichte angehörend) sich nach gleicher Richtung fortpflanzen, so hängt die Stärke der resultirenden Schwingung davon ab, ob beide Bewegungen gleichzeitig, oder durch ein gewisses Zeitintervall getrennt, von dem nämlichen Puncte ausgehen. Die Ausweichungen aus der Gleichgewichtslage, welche ein Aethertheilchen vermöge beider Bewegungen gleichzeitig annimmt, summiren sich. Die Intensität des Lichtes aber ist jedesmal dem Quadrat dieser Ausweichung oder dem Quadrat derjenigen Geschwindigkeit proportional, welche das Aethertheilchen bei dem Durchgang durch die Gleichgewichtslage angenommen hat.

Sind die grössten Ausweichungen zweier Wellen c und c', und treffen diese ein Aethertheilchen gleichzeitig, so wird dies bis zu einem Abstand $c + c'$ aus der Ruhelage getrieben. Ist die eine Schwingung gegen die andere um eine halbe Wellenlänge zurück, so sind beide Bewegungen an dem nämlichen Puncte in entgegengesetztem Sinne gerichtet. Das Aethertheil-

chen nimmt die grösste Ausweichung $c-c'$ an. Es findet völlige Aufhebung der Bewegung statt, wenn $c = c'$ *).

Im Falle die beiden Schwingungsrichtungen rechtwinklig aufeinander stehen, kann eine geradlinige resultirende Schwingung nur dann entstehen, wenn der Gangunterschied der Componenten gleich Null oder irgend einer Zahl halber Wellenlängen gleich ist.

Ein Gangunterschied einer geraden Anzahl halber Wellenlängen kann keine andere Wirkung haben, als wenn kein Gangunterschied vorhanden wäre. Beide Componenten greifen das Aethertheilchen m (Fig. 311) gleichzeitig an und führen es in der Richtung md der Diagonale des über c und c' construirten Parallelogramms fort, so dass $c'' = \sqrt{c^2 + c'^2}$. Wird die Seitenschwingung c' durch irgend eine Ursache noch um eine weitere

---

*) Um die Intensität der resultirenden Schwingung bei jedem andern Gangunterschiede der geradlinig polarisirten Strahlen zu erfahren, muss man die Rechnung zu Hülfe nehmen.

Es sei $s = c \; sin. \; 2 \; \pi \frac{t}{T}$ (No. 489) die Ausweichung eines Theilchens zu irgend einer Zeit t, welche in Theilen einer ganzen Schwingungsdauer ausgedrückt erscheint. Eine andere Welle gebe dem nämlichen Theilchen zu der nämlichen Zeit die Ausweichung $s' = c' \; sin. \; 2 \; \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$, wo x den Gangunterschied beider Wellen bezeichnet, in den nämlichen Einheiten ausgedrückt wie die Wellenlänge λ. Der sovielte Theil x von λ ist, um den ebensovielten Theil einer ganzen Schwingungsdauer wird ein Aethertheilchen von der letzteren Welle später ergriffen, als von der ersteren, daher $\frac{t}{T}$ um $\frac{x}{\lambda}$ zu vermindern ist, wenn man die gleichzeitigen Ausweichungen in Rechnung nehmen will. Drückt man die Ausweichung des resultirenden Systems durch eine ähnliche Form $s'' = c'' \; sin. \; 2 \; \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x'}{\lambda} \right)$ aus, so findet man aus der Gleichung: $s'' = s + s'$, leicht:

$$c''^2 = \left(c + c' \; cos. \; 2 \; \pi \frac{x}{\lambda} \right)^2 + c'^2 \; sin.^2 \; 2\pi \frac{x}{\lambda}$$

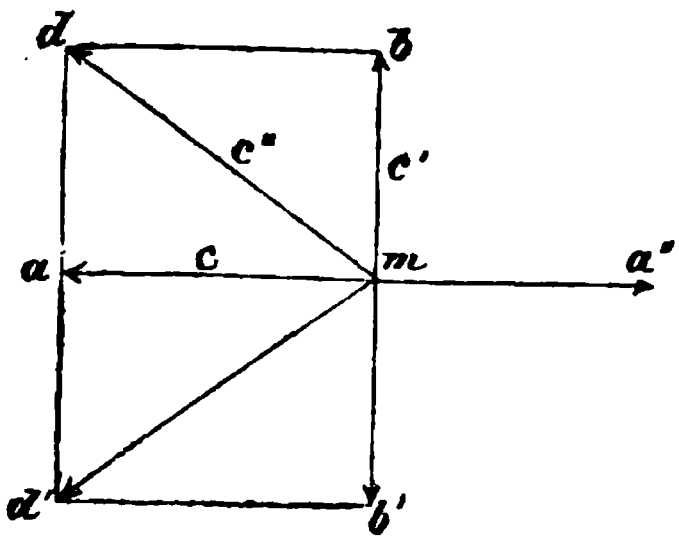
$$\text{und} \quad tang. \; 2 \; \pi \frac{x'}{\lambda} = \frac{c' \; sin. \; 2 \; \pi \frac{x}{\lambda}}{c + c' \; cos. \; 2 \; \pi \frac{x}{\lambda}}$$

beträgt der Gangunterschied beider Systeme, z. B. eine Viertelwelle, so dass $x = \frac{\lambda}{4}$, so ist

$$c''^2 = c^2 + c'^2 \qquad tang. \; 2 \; \pi \frac{x}{\lambda} = \frac{c'}{c},$$

also die Intensität des resultirenden Strahls gleich der Summe der Intensitäten der beiden componirenden Strahlen.

Fig. 311.



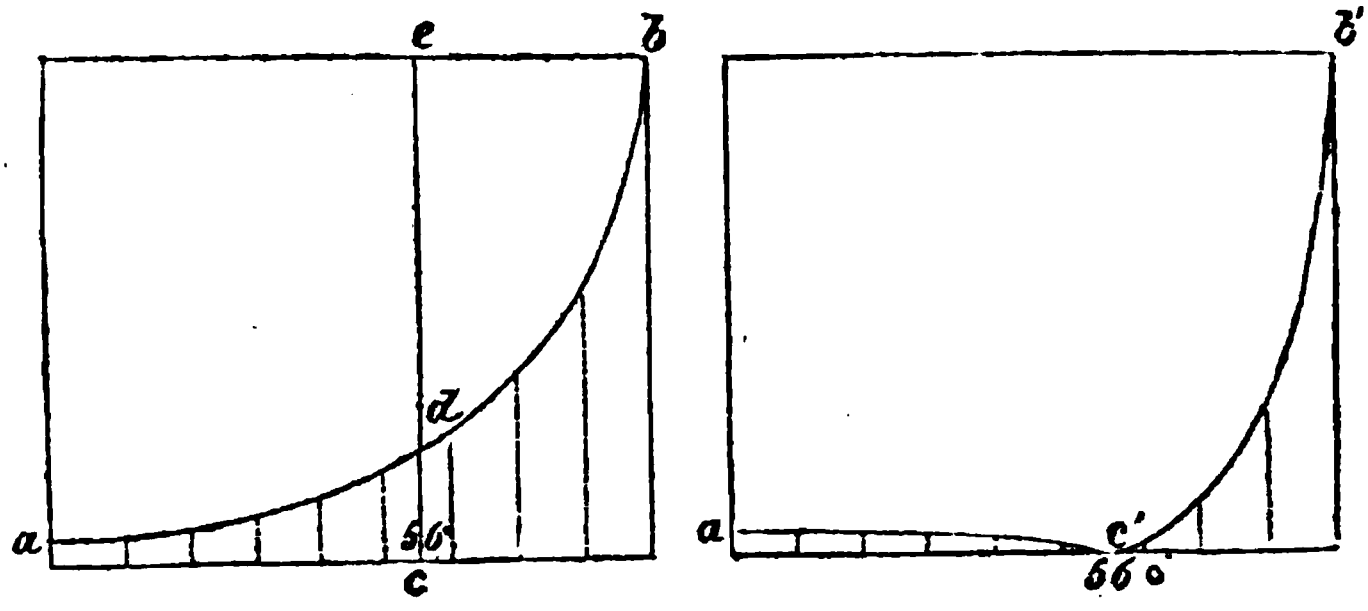
halbe Wellenlänge verzögert, so dass der Gangunterschied eine ungerade Anzahl halber Wellenlängen beträgt, so wirkt diese Seitenschwingung nach mb' in demselben Augenblicke, in welchem c nach ma gerichtet ist. Das Aethertheilchen wird daher nach md' aus der Ruhelage gerissen. Sind c und c' einander gleich, so steht die Schwingungsrichtung md' auf der im ersteren Falle erhaltenen md rechtwinklig. Eine Vermehrung des Gangunterschiedes um eine halbe Wellenlänge bewirkt daher in diesem Falle eine Drehung der Schwingungsrichtung um 90°.

Wird das Aethertheilchen, nachdem es erst einen Theil des Weges ma vor- oder rückwärts beschrieben hat, von der nach mb gerichteten Bewegung ergriffen, so lehrt die Rechnung, dass es dann in einer elliptischen Bahn um die Ruhelage m herumgeführt wird. Ein solcher Strahl heisst dann **elliptisch polarisirt**. Die Richtung und Grösse der grossen und kleinen Axe der elliptischen Bahn lassen sich leicht aus der Grösse c und c' der Seitenschwingungen und aus ihrem Gangunterschiede (oder Phasenunterschiede) herleiten. — Wenn beide Seitenschwingungen gleiche Intensität haben und der Gangunterschied eine Viertel-Wellenlänge beträgt, so dass das Theilchen m, wenn es nach a gelangt ist, von der Seitenschwingung c' ergriffen wird, so geht die elliptische Schwingung in eine kreisförmige über, der Strahl heisst **circular** oder **kreisförmig polarisirt**. Jedes Theilchen, welches der Strahl fortpflanzt, bewegt sich im Kreise von a nach b, so lange die beiden Seitenschwingungen zu wirken fortfahren. Die in der geraden Fortpflanzungsrichtung des Strahles gelegenen Theilchen kommen, indem sie nach und nach von dieser Bewegung ergriffen werden, auf eine schraubenförmig gewundene Curve zu liegen. In dem angeführten Falle ist die Schraubenlinie eine rechtsgewundene. Wäre dagegen ma gegen mb um eine Viertel-Wellenlänge zurück, so dass das Theilchen m von der Seitenbewegung erst ergriffen würde, wenn es vermöge der Schwingung nach b gekommen wäre, so würde die Kreisbewegung von b nach a hin gehen, die Schraubenlinie, welche die Wellencurve in irgend einem Momente darstellt, wäre linksgewunden. Dasselbe Resultat würde eintreten, wenn mb gegen ma um drei Viertel einer Wellenlänge verzögert wäre. Die Seitenschwingung mb würde dann das Aethertheilchen angreifen, nachdem es von m nach a und wieder zurück über m nach a'' gelangt wäre, und die Bewegung würde in dem Sinne $a''ba$ stattfinden.

582. **Erklärung der Polarisation.** Wenn man bei parallelen Einfallsebenen der Spiegel im Nörrenberg'schen Apparate den Einfallswinkel des polarisirten Strahls am oberen Spiegel von 0° bis 90° anwachsen lässt, so nimmt die Intensität des hier zum zweiten Male zurückgeworfenen Lichtes stetig zu in der Weise, wie die Ordinaten der Curve ab, Fig. 312. — Wiederholt man eine ähnliche Folge von Beobachtungen bei gekreuzten Spiegeln, (wenn die Einfallsebenen rechtwinklig gegeneinander gerichtet sind), so sind bei der normalen und streifenden Incidenz die Intensitäten des zurückgeworfenen Lichtes begreiflicher Weise die nämlichen, wie im ersten Falle. Von 0° an aber nimmt die Intensität zunächst ab, sie wird unter dem Polarisationswinkel Null und nimmt dann wieder bis zur streifenden Inci-

denz zu, wie dies die Curve $a'c'b'$, Fig. 312, versinnlicht. Sie ist gezeich-

Fig. 312.



net für die Zurückwerfung am Glas, für welche der Polarisationswinkel etwa 56° beträgt*).

---

*) Indem Fresnel die Intensitäten des zurückgeworfenen und gebrochenen Strahls bei gegebener Intensität des einfallenden Lichtes und bekanntem Einfallswinkel, nach den Gesetzen des Stosses elastischer Körper abzuleiten suchte, ging er von der Ansicht aus, dass die bewegten Massen in beiden Mitteln den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes in denselben, sowie der Dichte des Aethers, welche die Ungleichheit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit bedinge, proportional zu setzen seien. Nennt man die Massen im einfallenden, gebrochenen und reflectirten Strahle m, m' und m, die Schwingungsamplituden c, c' und c'', so führt die Bedingung, dass die lebendige Kraft im einfallenden Strahle der Summe der lebendigen Kräfte im gebrochenen und reflectirten Strahle gleich sei, zu der Gleichung $m c^2 = m' c'^2 + m c''^2$, welche für den Einfallswinkel α und den Brechungswinkel α' in die Gleichung $cos.\alpha\, sin.\alpha'.c^2 = cos.\alpha' sin.\alpha.c'^2 + cos.\alpha\, sin.\alpha'.c''^2$ übergeht. Allein diese einzige Gleichung genügt zur Herleitung der beiden Unbekannten c' und c'' nicht. Fresnel fügte noch die Hypothese hinzu, dass parallel der brechenden Fläche die Verschiebungen des Aethers im einfallenden und zurückgeworfenen Strahle derjenigen im gebrochenen Strahle gleich seien.

Für rechtwinklig zur Einfallebene schwingendes Licht erhält man hiernach die Gleichung $c + c'' = c'$; für in der Einfallebene schwingendes Licht dagegen, wenn man die entsprechenden Grössen mit $c_,$, $c_,'$ und $c_,''$ bezeichnet, die Gleichung $(c_, + c_,'')\ cos.\ \alpha = c_,'\ cos.\ \alpha'$.

Je nachdem man die eine oder die andre dieser Bedingungen mit der obigen Gleichung verbindet, ergibt sich

$$c''^2 = c^2 \cdot \frac{sin.^2(\alpha - \alpha')}{sin.^2(\alpha + \alpha')} \text{ oder } c_,''^2 = c_,^2 \cdot \frac{tg.^2(\alpha - \alpha')}{tg.^2(\alpha + \alpha')}$$

Wenn n der Brechungscoefficient des Körpers ist, an welchem die Zurückwerfung geschieht, und $c_, = c$ genommen wird, so erhält man die Intensität des senkrecht reflectirten Lichtes aus beiden Formeln gleich, nämlich

$$c''^2 = c^2 \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2$$

Nimmt man die Intensität des einfallenden Lichtes zur Einheit und be-

Wenn man auf die Oberfläche einer durchsichtigen Substanz einen geradlinig polarisirten Strahl einfallen lässt, dessen Schwingungsrichtung einen Winkel von 45^0 mit der Einfallsebene bildet [also einen im Azimut *) von 45^0 polarisirten Strahl], so sind die Seitenschwingungen parallel und rechtwinklig zur Einfallsebene, in welche man sich die Bewegung des Aethers zerlegt denken kann, im einfallenden Strahl gleich. Da bei jeder andern, als der normalen oder streifenden Incidenz, das in der Einfallsebene schwingende Licht in geringerem Verhältniss zurückgeworfen wird, als das rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende, so besteht im reflectirten Strahle jene Gleichheit nicht mehr, und die resultirende Schwingungsrichtung hat in Folge hiervon ein grösseres Azimut angenommen. Bei jeder folgenden Reflexion in der nämlichen Einfallsebene wird es sich immer mehr 90^0 nähern; es wird aber diesen Werth sogleich und schon bei einmaliger Reflexion annehmen, wenn diese unter dem Polarisationswinkel geschieht. — Einen gewöhnlichen Lichtstrahl, welcher Schwingungen in allen möglichen Azimuten in unregelmässiger Folge enthält, kann man sich in zwei Composanten zerlegen, welche parallel und rechtwinklig zur Einfallsebene schwingen, und diese Composanten haben nothwendig gleiche Intensität. Nach der Reflexion aber an einer durchsichtigen Substanz herrschen die zur Einfallsebene rechtwinkligen Schwingungen vor, der Strahl ist theilweise polarisirt. Bei der Zurückwerfung unter dem Polarisationswinkel geht der gewöhnliche Lichtstrahl in einen geradlinig polarisirten über, da die parallel der Einfallsebene schwin-

---

rechnet für Substanzen deren Brechungscoefficienten 1,5; 2,4; 4,0 sind, die Intensität des normal zurückgeworfenen Lichtes, so erhält man $1/25$, $1/6$ und $9/25$. Diese Zahlen charakterisiren die in der Mineralogie unterschiedenen Reflexionen, den Glasglanz, Diamantglanz und Metallglanz.

Bei der streifenden Incidenz ist der zurückgeworfene Strahl von dem einfallenden nicht verschieden. Während der Werth für c''^2, für das rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende Licht, von $\alpha = 0$ bis $\alpha = 90^0$ stetig wächst, wird $c_1''^2$ zwischen diesen Grenzen einmal Null, wenn $tg.\ (\alpha + \alpha') = \infty$, also $\alpha + \alpha' = 90^0$. Diess ist dann der Fall, wenn $tg.\ \alpha = n$, und man sieht leicht, dass dann der zurückgeworfene und der gebrochene Strahl einen rechten Winkel mit einander bilden. Das Gesetz, dass die Tangente des Polarisationswinkels dem Brechungsverhältniss der Substanz gleich ist, wurde zuerst von Brewster experimentell nachgewiesen und von Seebeck durch zahlreiche Messungen bestätigt. Man bemerkte indessen alsbald, dass dieser Satz nur für durchsichtige Körper von geringerer Brechkraft Geltung habe, und auf die Metalle und solche Substanzen, welche in Folge ihres hohen Brechungsverhältnisses das Licht mit metallähnlichem Glanze reflectiren, nicht anwendbar sei.

*) Für den Winkel, welchen eine irgend beliebige gerade Linie, mit einer in derselben Ebene liegenden, und als Nullinie angenommenen Richtung bildet, wird in der Folge die übliche Benennung Azimut angewendet werden.

gende Composante ganz in den gebrochenen Strahl aufgenommen wird.

Der gebrochene Strahl enthält jedoch auch bei dieser Incidenz noch einen grossen Theil des rechtwinklig zur Einfallsebene schwingenden Lichtes, nämlich den ganzen Antheil *ed* (Fig. 312), welcher das reflectirte Licht *cd* zur ursprünglichen Intensität *ce* ergänzt. Durch einmalige Brechung kann daher ein gewöhnlicher Lichtstrahl nicht vollständig polarisirt werden, und nur durch häufige Wiederholung des Vorgangs an einer grossen Zahl hintereinander gelegter brechender Flächen kann man ihn dem Zustande vollständiger geradliniger Polarisation allmählig näher führen.

582. Metallreflexion. — Metallflächen haben nicht die Fähigkeit gewöhnliches Licht unter einer bestimmten Incidenz in geradelinig polarisirtes Licht zu verwandeln. Indessen erkennt man auch bei ihnen, dass die in der Einfallsebene schwingende Composante (P) mit geringerer Vollständigkeit reflectirt wird, als die rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende (R). Man hat bei verschiedenen Metallen den Einfallswinkel aufgesucht, bei welchem das Verhältniss $\frac{P}{R}$ am kleinsten ausfällt, und indem man diesem Winkel die Bedeutung des Polarisationswinkels beilegte, berechnete man nach der Formel: $tg.\ \alpha = n$, die Brechungsverhältnisse der Metalle, welche wegen der Undurchsichtigkeit dieser Körper in keiner andern Weise ausgemittelt werden konnten. Bei dem Zink z. B. ist das Verhältniss $\frac{P}{R}$ bei etwa 77° am kleinsten und der Brechungscoefficient des Zinks hiernach: $n = 4{,}331$.

Bei der Zurückwerfung an Metallflächen erleidet ein Lichtstrahl jedoch noch anderweite Modificationen, welche sich am einfachsten übersehen lassen, wenn man als einfallenden Strahl einen geradlinig polarisirten wählt. Gesetzt, die Schwingungen desselben erfolgen im Azimut von 45°, so dass die beiden Hauptcomposanten des einfallenden Lichtes gleiche Intensität haben. Man bemerkt alsdann, dass im reflectirten Lichte die geradelinige Polarisation aufgehoben ist. Ob theilweise Depolarisation, d. h. Ueberführung in den unpolarisirten Zustand, oder ob eine Umwandlung in elliptisch polarisirtes Licht stattgefunden hat, lässt sich mit einem Nikol oder einer Turmalinplatte nicht entscheiden. Die letztere Erklärung wird aber zur Gewissheit erhoben durch den Umstand, dass bei jeder Incidenz durch wiederholte Reflexionen die geradelinige Polarisation wiederhergestellt werden kann, wenn auch nicht in dem Azimut des einfallenden Strahls.

Bei jedem Metalle lässt sich eine Incidenz finden, und diese weicht nur äusserst wenig von dem Polarisationswinkel ab, unter welcher eine zweimalige Reflexion in der nämlichen Einfallsebene genügt, um die geradelinige Polarisation, welche bei der ersten Reflexion aufgehoben wird, in einem andern Azimut wieder herzustellen. Der Gangunterschied der beiden Hauptcomposanten muss demnach einer halben Wellenlänge gleich sein; da ein Gangunterschied von einer ganzen Wellenlänge das Azimut ungeändert gelassen hätte, und in diesem Falle auch nach einmaliger Reflexion die geradelinige Polarisation hätte beobachtet werden müssen. Nach dieser ersten Reflexion betrug der Gangunterschied beider Hauptcomposanten eine Viertelwellenlänge, das Licht war elliptisch polarisirt. Man hat Mittel gefunden, nachzuweisen, dass das in der Einfallsebene schwingende Licht gegen das rechtwinklig zur Einfallsebene schwingende zurückbleibt, und dass die Ver-

zögerung von der streifenden bis zur normalen Incidenz von 0 bis zu einer halben Wellenlänge stetig anwächst. Der Winkel, bei welchem der Gangunterschied $\frac{\lambda}{4}$ beträgt, hat den Namen Hauptincidenz erhalten. Er ist nur äusserst wenig von demjenigen verschieden, bei welchem das Verhältniss $\frac{P}{R}$ der Hauptcomposanten einen kleinsten Werth annimmt.

Die Reflexionserscheinungen der Metalle und diejenigen der durchsichtigen Körper bildeten sonach zwei gesonderte Gruppen, die Fresnel'schen Formeln (S. 630) zeigten sich auf die Metallreflexion nicht anwendbar. Indessen hatte man bemerkt, dass einige durchsichtige Körper von hohem Brechungsverhältniss, wie Diamant, geschmolzener Schwefel, kohlensaures Blei, innerhalb gewisser Gränzen der Incidenz deutlich elliptische Polarisation zeigten und Jamin*) hat endlich nachgewiesen, dass das nämliche auch bei Substanzen von niederer Brechkraft, wie bei Spiegelglas, Wasser etc. stattfindet. Nur sind einerseits die Grenzen, zwischen welchen der Gangunterschied der Hauptcomposanten sich von 0 auf $\frac{\lambda}{2}$ vergrössert, so eng (für Glas ist dieser Uebergang nur zwischen 50° und 60° bemerkbar), und andrerseits sinkt das in der Einfallsebene schwingende Licht in der Nähe der Hauptincidenz auf einen so kleinen Werth herab, dass ohne feinere Mittel der Beobachtung die Abweichung von der geradelinigen Polarisation nicht wahrgenommen werden kann. Je höher der Brechungscoefficient einer Substanz ist, desto deutlicher und zwischen desto weiteren Gränzen tritt die elliptische Polarisation hervor. Es folgen hier einige Beispiele, in welchen I die Hauptincidenz, K das Verhältniss $\frac{P}{R}$ der Hauptcomposanten bei diesem Einfallswinkel, n den aus diesem Winkel berechneten, und n' den beobachteten Brechungscoefficienten bedeutet.

	I	K	n	n'
Positive Substanzen.				
Selen	68° 5′	0,1750	2,605	—
Realgar	67°26′	0,0850	2,454	2,420
Kalkspath . . .	59° 0′	0,0591	1,675	1,654
Flintglas . . .	59°44′	0,0180	1,714	1,710
Quarz	56°30′	0,0102	1,530	1,547
Kronglas . . .	56° 5′	0,0060	1,487	—
Neutrale Substanzen.				
Alaun	55° 0′	0,0000	1,428	—
Menilit	56° 0′	0,0000	1,482	—
Negative Substanzen.				
Fluorin	55°15′	0,0084	1,441	—
Hyalith	54°52′	0,0064	1,421	—

Fast bei allen Substanzen wird die Composante P gegen R verzögert Bei dem Alaun und Menilit allein konnte Jamin keine Spur von elliptischer Polarisation auffinden. Auf diese sind daher die Fresnel'schen Formeln in aller Strenge anwendbar. Diese Formeln bilden jetzt nur noch einen speciellen Fall der allgemeinen Reflexionsformeln welche Cauchy entwickelt hat, und welche die Gesetze der Zurückwerfung an Mitteln jeder Brechkraft umfassen. Mit dem Namen negativer Substanzen hat Jamin diejenigen bezeichnet, bei welchen die in der Einfallsebene schwingende Composante der zu ihr rechtwinkligen vorauseilt.

---

*) Ann. chim. phys. (3 Ser.) XXIX, 263, XXXI, 165.

Der Polarisationswinkel und die Hauptincidenz sind von dem Brechungscoefficienten abhängig, also nicht nur mit der Substanz, sondern auch für die verschiedenen Farbenstrahlen verschieden. Es kann daher bei der Zurückwerfung von in der Einfallsebene schwingendem Lichte immer nur Ein Farbenstrahl ins Minimum gebracht werden und es erklärt sich daraus die leichte Färbung, welche weisses Licht bei der Reflexion in der Nähe der Hauptincidenz annimmt, und welche sich bei oft wiederholter Reflexion an Metallflächen bis zu einem deutlich hervortretenden Farbentone steigert. Auch sieht man ein, dass aus diesem Grunde die Polarisation durch Reflexion nie eine vollständige sein kann. Der Turmalin und das Nikol'sche Prisma leisten in dieser Beziehung mehr.

Auch bei der totalen Zurückwerfung findet eine merkliche Verzögerung des in der Einfallsebene schwingenden Lichtes statt, abhängig von dem Einfallswinkel und dem Brechungsverhältniss. Bei gewöhnlichem Glase erreicht z. B. der Gangunterschied der beiden Hauptcomposanten unter der Incidenz 54° den Werth von ein Achtel Wellenlänge. Lässt man daher einen im Azimut von 45° geradelinig polarisirten Strahl zweimal unter jener Incidenz total reflectiren, so erhält man einen kreisförmig polarisirten Strahl. Zwei weitere Reflexionen desselben unter den nämlichen Umständen und bei gleichbleibender Einfallsebene, verwandeln die Polarisation wieder in die geradelinige, allein die Schwingungsrichtung ist gegen die anfängliche um einen rechten Winkel gedreht (Fresnels Parallelopipeda).

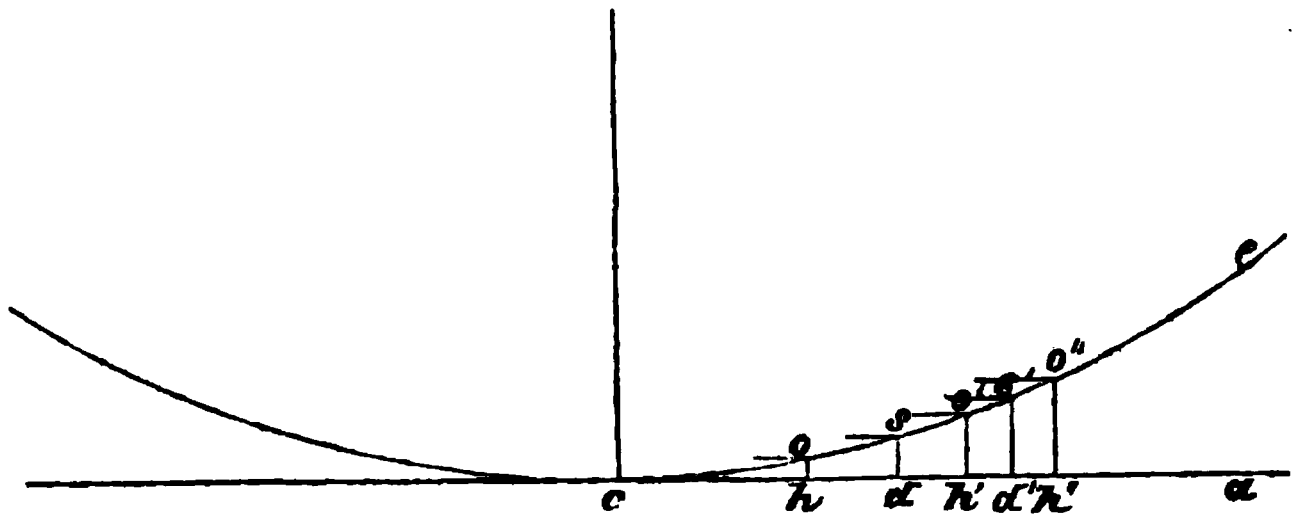
583. Farben dünner Schichten. — Die Zurückwerfung des Lichtes an den beiden Grenzflächen durchsichtiger dünner Schichten gibt zu Interferenzerscheinungen Anlass, welche durch die Lebhaftigkeit des Farbenspiels schon frühe die Aufmerksamkeit der Forscher erregt hatten. Es gehören dahin die Farben dünner Seifenblasen, dünner Fettschichten auf Wasser, des angelaufenen Stahls, sowie die regenbogenfarbigen Streifen, welche man in Sprüngen und Spalten durchsichtiger Krystalle (Kalkspath, Gyps) bemerkt. Unter dieser letzteren Form ist die Erscheinung zum Erkennen der Gesetzmässigkeiten am Geeignetsten und Newton wusste sie zu diesem Zweck künstlich dadurch hervorzurufen, dass er eine schwach convexe Glaslinse auf eine ebene Glasplatte presste. Die farbigen Ringe, welche in regelmässigen concentrischen Kreisen um die Berührungsstelle auftreten, haben den Namen der Newton'schen Farbenringe erhalten.

Lässt man normal gegen die ebene Platte im Newton'schen Apparate homogenes Licht einfallen, so bemerkt man im Mittelpunct der Erscheinung einen kreisförmigen dunkeln Fleck, diesen umgibt ein heller Ring und es folgt nun eine grosse Zahl von abwechselnd dunkeln und hellen Ringen, welche um so feiner werden, je weiter sie vom Mittelpuncte abstehen. Newton hatte bereits ausgemittelt, dass die Halbmesser ch, ch', ch'' .. (Fig. 313) der hellen Ringe wachsen, wie die Quadratwurzeln aus den ungeraden Zahlen 1, 3, 5 . ., die Halbmesser cd, cd' . . der dunkeln Ringe dagegen, wie die Quadratwurzeln aus den graden Zahlen 2, 4, . .

Die Dicken ho, $h'o'$, . . ds, $d's'$, . . der zwischen beiden Gläsern enthaltenen Luftschichte verhalten sich aber, wie aus der Eigenschaft des Kreises folgt, wie die Quadrate der Abstände ch, ch' . . cd cd' . . vom Mittelpuncte; so dass also die Dicken ho, $h'o'$, $h''o''$ . . wie die ungeraden Zahlen 1, 3, 5 . . die Dicken ds, $d's'$ . . wie die geraden Zahlen 2, 4 . . wachsen.

Nimmt man nun an, dass die Auslöschung des Lichtes in den dunkeln Ringen aus dem Zusammenwirken der an der oberen Grenzfläche ce und

Fig. 313.



der unteren Grenzfläche ca reflectirten Strahlen folge, so wird man die dunkeln Ringe da erwarten, wo die Dicke der Luftschichte $\frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}$ .. beträgt, weil dann der an der untern Fläche zurückgeworfene Strahl, nachdem er diese Schichte zweimal durchlaufen hat, die Gangunterschiede $\frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}$ gegen den an der oberen Grenzfläche zurückgeworfenen Strahl angenommen hat. Die hellen Ringe dagegen würden den Dicken 0, $\frac{2\lambda}{4}, \frac{4\lambda}{4}$ .. entsprechen. Da nun die Beobachtung gerade das Umgekehrte lehrt, so muss noch eine andere Ursache wirksam sein, welche den Phasenunterschied der Schwingungen, wie er aus dem Unterschied der Wege folgt, noch um eine halbe Wellenlänge vergrössert. Young suchte diese Ursache in der Umkehrung der Schwingungsrichtung bei der Reflexion an einem dichteren Mittel, ähnlich wie eine elastische Kugel bei dem Anstoss an eine schwerere in entgegengesetzter Richtung zurückprallt. Die Fresnel'schen Reflexionsformeln stehen mit dieser Vorstellung im Einklang, sie geben

$$c'' = c\,\frac{sin.\,(\alpha - \alpha')}{sin.\,(\alpha + \alpha')} \text{ und } c''' = c\,\frac{tg.\,(\alpha - \alpha')}{tg.\,(\alpha + \alpha')}$$

also für c'' und c''', positive oder negative Zeichen, je nachdem α grösser oder kleiner als α' ist, je nachdem also die Reflexion an stärker oder an schwächer brechenden Mitteln erfolgt. — Wenn man übrigens einen verstärkten Druck ausübt, so kann man die beiden Gläser bei c wie zu einem Körper verbinden, so dass das einfallende Licht gerade durchgeht. Dann verschwindet im Felde der totalen Reflexion dieser innere Theil des dunkeln Flecks nicht, während die umgebenden Ringe begreiflicher Weise wegfallen müssen, da kein Licht mehr in die Luftschichte austreten kann.

Ersetzt man die Luft zwischen beiden Gläsern durch eine tropfbare Flüssigkeit, so werden die Halbmesser der Ringe kleiner in dem Verhältnisse des Brechungscoefficienten der angewendeten Flüssigkeit. — Bei schiefer Incidenz dagegen vergrössern sich die Ringhalbmesser; man kann leicht ableiten, dass der Gangunterschied an der nämlichen Stelle sich im Verhältniss des Cosinus des Einfallswinkels vermindert; die Ringdurchmesser müssen daher im umgekehrten Verhältniss der Cosinusse d. h. wie die Sekanten der Einfallswinkel wachsen.

Im durchfallenden Lichte beobachtet man die complementäre Erscheigung zu derjenigen, welche die reflectirten Strahlen zeigen. Die Mitte ist

hell, bei ho, $h'o'$, $h''o''$, . . finden sich dunkle, bei ds, $d's'$ . . helle Ringe. Die Erscheinung ist bedingt durch die Interferenz des gerade durchgehenden Lichts mit dem Strahl, welcher durchgeht, nachdem er zum erstenmal bei h und zum zweitenmale bei o reflectirt worden war. Wenn $ho = \frac{\lambda}{4}$, so macht diess einen Gangunterschied von $\frac{\lambda}{2}$ aus und dieser wird nicht weiter verändert, da beide Reflexionen an einem dichteren Mittel erfolgen. im Abstande ch entsteht daher ein dunkler Ring.

Man sieht leicht ein, dass im durchgehenden wie im reflectirten Lichte der Durchmesser der Ringe mit der Brechbarkeit des Lichtes sich ändern muss. Er verhält sich wie die Quadratwurzel aus den Wellenlängen. — Da nun bei Anwendung von weissem Lichte die Maxima und Minima der Lichtstärken der verschiedenen Farben sich nicht decken, so tritt an die Stelle von abwechselnd hellen und dunkeln in diesem Falle ein System regenbogenfarbiger Kreise, welche jedoch bei wachsendem Halbmesser immer weniger reine Farben zeigen und sich ganz in weissem Lichte verlieren, während man bei Anwendung von homogenem Lichte noch weit hinaus helle und dunkle Ringe wahrnimmt.

Die Farbenfolge in diesen Ringen (im reflectirten Lichte) ist bereits von Newton mit Aufmerksamkeit beobachtet und benannt worden. Da ganz ähnliche Farbenreihen in vielen optischen Phänomenen auftreten und es üblich geworden ist, in diesen Fällen die Terminologie der Newton'schen Ringe zu gebrauchen, so gehen wir noch etwas näher auf die Betrachtung dieser Farben ein.

Von der dunkeln Mitte aus gerechnet treten alle Farben allmälig in grösserer Stärke auf, die brechbarsten erreichen ihre grösste Helligkeit zuerst, daher der Farbenton an dieser Stelle fast Weiss mit einer schwachen Hinneigung zu Graublau ist. Etwas weiter wird das Weiss noch reiner. dann aber folgt, indem die brechbaren Strahlen nach und nach ins Minimum der Lichtstärke treten, Gelb, Orange, Roth. Die genannten Töne bilden die Farben erster Ordnung. In den Farben der zweiten und dritten Ordnung ist immer eine Parthie des Spektrums entschieden im Minimum, daher diese Farben verhältnissmässig am Reinsten hervortreten. Vergrössert sich aber der Gangunterschied so weit, dass er ein ungerades Vielfaches von $\frac{\lambda}{2}$ mehrer oder endlich sehr vieler ungleich brechbarer Strahlen ausmacht und gleichzeitig mehre und endlich sehr viele andre zwischen jenen liegenden Strahlen des Spectrums ins Maximum treten, so werden die Farben immer matter und verlieren sich endlich in Weiss. Zerlegt man solches weisses Licht, welches in einigem Abstande von den noch deutlich gefärbten Ringen durch den Newton'schen Apparat gegangen ist, mit dem Prisma, so findet man das Farbenbild von vielen dunkeln Streifen durchschnitten, entsprechend allen den Farbstrahlen, welche bei dem betreffenden Gangunterschiede aufgehoben worden sind.

Die Farbenscale der Newton'schen Ringe wird in folgender Weise benannt.

Erste Ordnung: Schwarz, Lavendelgrau, Blassgrün (fast Weiss), Gelb, Orange, Roth.

Zweite Ordnung: Purpur, Violett, Indigo, Himmelblau, Hellgrün, lebhaftes Gelb, Carmoisinroth.

Dritte Ordnung: Violett, Indigo, Grasgrün, Gelb, Blassroth, Carmoisin.

Vierte Ordnung: Bläulich Roth, bläulich Grün, Grauroth, Fleischroth.

Fünfte Ordnung: Blasses Blaugrün, blasses Roth.

Von hier an wechseln nur noch blasses Grün mit blassem Roth. — Im durchgehenden Lichte sind aus den oben angeführten Gründen die Farben die complementären.

Der Gedanke, welchen schon Newton hegte, dass die natürlichen Farben der Körper auf ähnliche Art entstehen möchten, wie die Farben dünner Blättchen, ist in späteren Zeiten wieder aufgenommen und namentlich von Wrede*) ausführlicher entwickelt worden.

Wenn ein Körper, von weissem Lichte bestrahlt, farbig erscheint, so ist dies ein Beweis, dass gewisse Elementarbestandtheile des weissen Lichtes unterdrückt wurden und nur die übrigen Strahlen, von dem Körper wieder ausgehend, in unser Auge gelangen. Die Farben, welche farbige Körper im reflectirten Lichte, oder durchsichtige gefärbte Substanzen im durchgehenden Lichte zeigen, sind selten von homogener Beschaffenheit. Durch Zerlegung mit dem Prisma findet man leicht, welche Elementarbestandtheile dieselben einschliessen. Ein Smalteglas von 2 Millimeter Dicke z. B. lässt nur noch Roth und Violett mit merklicher Stärke durch, eine concentrirte Lösung von zweifach chromsaurem Kali nur Roth, Orange und Gelb, während alle übrigen Strahlen völlig ausgelöscht sind.

Setzt man einen Körper von ziemlich homogener Färbung der Bestrahlung durch homogenes aber andersfarbiges Licht, z. B. einen rothen Körper grünem oder homogen gelbem Licht aus, so erscheint er fahl, aschfarbig. Ein rothes und ein grünes Glas hintereinander gelegt, löschen das Licht beinahe vollkommen aus. Die Strahlen erleiden daher in den farbigen Substanzen keine Umsetzung in eine andre Farbe, sondern die Färbung kommt allein dadurch zu Stande, dass aus dem einfallenden Lichte gewisse Strahlen von der farbigen Substanz zurückgehalten werden.

Diese Absorption scheint erst nach Durchlaufung einer Schicht von gewisser Dicke merklich zu werden. In sehr dünnen Schichten erscheinen auch lebhaft gefärbte Körper blass oder farblos; der Strich der meisten farbigen Mineralien ist blasser als die Körper in grösseren Stücken. Scheinbar farblose Körper, wie die Luft, das Wasser, nehmen in dicken Schichten Färbung an. Indessen muss doch bei manchen Substanzen die Schichte, in welcher die Absorption zu Stande kommt, ausserordentlich dünn sein; wie z. B. die lebhafte rothe Farbe des feinsten Poliermittels, des Eisenoxydpulvers, beweist.

Einen eigenthümlichen Anblick bietet das prismatische Farbenbild solchen Lichtes dar, welches durch gewisse farbige Gase, wie Jod- oder Bromgas, oder durch salpetrigsauren Dampf gegangen war. Man bemerkt eine grosse Menge schwarzer Streifen, bei Jodgas etwa 100, bei salpetrigsaurem Dampf etwa 2000, welche das Farbenbild in der Art der Fraunhoferschen Linien durchschneiden. Die Erscheinung ist in dieser Beziehung die nämliche, als wenn man ein Weiss sehr hoher Ordnung zerlegt hätte; sie unterscheidet sich aber insofern, als die farbigen Gase noch ausserdem gewisse Farbenräume des Spectrums, wie z. B. Jodgas das Grün und Hellblau, schwächen, oder ganz unterdrücken. Wrede hat nachgewiesen, dass sich alle diese Absorptionen aus

*) Pogg. Ann, XXXIII., 353.

Interferenzen von Strahlen herleiten lassen, welche von der äussersten Oberfläche, mit solchen, welche in einer Tiefe d, oder einem Vielfachen dieser Tiefe, reflectirt wurden. Nimmt man $d = 0{,}05^{mm}$, so erhält man so viel Absorptionen als im Jodgas; $d = \frac{1}{4}\frac{1}{5}$ Wellenlänge des rothen Lichtes gesetzt, gibt eine geringe, fast gleichmässige Schwächung aller Farben, daher ein durchsichtiges, farbloses Mittel; $d = \frac{1}{8}$ Wellenlänge des rothen Lichtes, gibt eine ins Rothe gehende Färbung u. s. f.

Doppelte Brechung.

584. Die ungleich grosse Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in verschiedenen Substanzen beweist den Einfluss, welchen die Natur und Gruppirung der Moleküle auf den Aether äussert. Man hat indessen diesen Einfluss noch nicht zu ermessen gewusst, da die Abhängigkeit der brechenden Kraft der Körper von ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrer Dichte, Temperatur etc. zur Zeit noch in Dunkel gehüllt ist. Indessen kennt man noch eine Klasse von Erscheinungen, welche die Abhängigkeit der Verbreitung des Lichtes von der physikalischen Constitution der Materie in überraschend regelmässiger Weise kund gibt, die Erscheinungen der Doppelbrechung in krystallisirten Mitteln.

In amorphen Substanzen, wie Luft, Wasser, Glas, ferner in den Krystallen des regulären Systems, ist die Constitution der Materie nach allen Richtungen hin eine nämliche und in ihnen verbreitet sich das Licht auch nach allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit. — In den Krystallen des quadratischen, hexagonalen, rhombischen, monoklinometrischen und triklinometrischen Systems ist die Materie nicht in jeder Richtung gleich angeordnet. Schon die Verhältnisse der Kantenwinkel lassen hierauf schliessen, die Versuche Savart's über Elasticität, Mitscherlich's über Ausdehnung durch die Wärme, Senarmont's und Wiedemann's über die Verbreitung der Wärme und Elektrizität, sowie die Richtung, welche diese Krystalle zwischen den magnetischen und electrischen Polen annehmen, beweisen es auf das Deutlichste. Auch die Geschwindigkeit des Lichtes, und damit die Brechungsverhältnisse, sind in diesen Krystallen mit der Richtung verschieden; so dass man hieraus schliessen muss, dass die Schwingungen des Aethers in verschiedener Richtung eine ungleiche Elasticität ins Spiel setzen.

So mannigfaltig diese Verhältnisse in den Krystallen der verschiedenen Systeme sind, so geben sie sich doch in so fern in

übereinstimmender Weise kund, als ein Lichtstrahl beim Eindringen in jeden solchen Krystall im Allgemeinen in zwei Strahlen gespalten wird, welche dann geradlinig und rechtwinklig gegeneinander polarisirt sind. Uebrigens lassen sich die doppelbrechenden Körper in zwei grosse Gruppen sondern. In den Krystallen des quadratischen (Honigstein, Apophyllit) und des hexagonalen (Kalkspath, Bergkrystall) Systems findet sich immer eine Richtung, in welcher ein Strahl fortgehen kann, ohne doppelt gebrochen und polarisirt zu werden. Diese Richtung, welche immer und für alle Farbenstrahlen mit der krystallographischen Hauptaxe zusammenfällt, heisst die optische Axe; die Krystalle der erwähnten Systeme sind optisch einaxige genannt worden. Im Kalkspathe, welcher in Rhomboedern vorkommt, ist die Axe durch die Verbindungslinie derjenigen Ecken gegeben, welche von drei stumpfen Winkeln gebildet werden. Im Bergkrystalle ist die Axe den Seitenflächen der sechsseitigen Säule parallel.

In den Krystallen des rhombischen (Arragonit, Salpeter, Topas) monoklinometrischen (Borax, Adular, Gyps) und triklinometrischen (Kupfervitriol) Systems finden sich zwei Richtungen, in welchen ein Strahl weder doppelt gebrochen, noch polarisirt wird. Diese Körper heissen daher optisch zweiaxige.

Wenn man aus einem optisch einaxigen Krystalle Prismen schleift, in verschiedener Lage gegen die optische Axe, und die Brechungscoefficienten in den beiden Farbenbildern, welche man dann erhält, etwa mit Benutzung der Fraunhofer'schen Linien*) misst, so ergibt sich, dass die Brechungsverhältnisse in dem einen Farbenbilde unter allen Umständen die nämlichen bleiben. Mit einem Nikol findet man, dass die Schwingungen des Aethers in diesen Strahlen stets rechtwinklig zur Axe gerichtet sind. Es heisst dieser Strahl, welcher ganz dem Snellius's'schen Brechungsgesetze folgt, der ordentlich gebrochene, (O). — Die Brechungsverhältnisse im zweiten Farbenbilde ändern sich, je nach der Neigung der brechenden Flächen des Prismas gegen die optische Axe. Sie unterscheiden sich von denjenigen des Strahles *O* am meisten, die Doppelbrechung wird also am stärksten, wenn die brechende Kante des Prismas der optischen Axe parallel läuft, der Strahl sich also in einer zur optischen Axe rechtwinkligen Richtung fortpflanzt. Eine Untersuchung mit dem Nikol lehrt, dass die Schwingungen dieses Strahls immer in einer Ebene liegen, welche durch die optische Axe und den Strahl selbst geht; dass sie also nach der optischen Axe selbst gerichtet sind, wenn der Strahl rechtwinklig zu dieser Richtung fortgeht. Jene Ebene hat den Namen Hauptschnitt erhalten. Die Schwin-

*) Rudberg, Pogg. Ann. XIV, 45, XVII, 1.

gungen des ordentlichen Strahls stehen immer senkrecht auf dem Hauptschnitt; der Strahl, dessen Schwingungen in den Hauptschnitt fallen, heisst der ausserordentlich gebrochene, (*E*).

Diese Erscheinungen in ihrer Gesammtheit haben Fresnel zu der Annahme geführt, dass in den optisch-einaxigen Krystallen die Elasticität des Aethers in allen zur Axe rechtwinkligen Richtungen gleich, in Richtung der Axe selbst aber entweder grösser oder kleiner sei, und zwischen diesen beiden Hauptrichtungen stetig zu- oder abnehme. Es harmonirt diese Vorstellung mit der Gestalt und den übrigen physikalischen Eigenschaften dieser Krystalle, welche sich ebenfalls in allen zur Hauptaxe rechtwinkligen Richtungen gleich verhalten. — Wenn man sich von einem Puncte im Innern des Krystalls nach allen denkbaren Richtungen Linien aufgetragen denkt, deren Länge proportional ist den in diesen Richtungen ins Spiel gesetzten Elastizitäten, so liegen die Endpuncte in einer Umdrehungsfläche, von Fresnel die Elastizitätsfläche genannt. Die Rechnung lehrt die Gestalt dieser Fläche finden, wenn das Verhältniss der Elastizitäten in den beiden Hauptrichtungen (parallel und rechtwinklig zur Axe) bekannt ist.

Dieses Verhältniss ist aber das nämliche, wie das der Quadrate der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten derjenigen Strahlen, welche ein parallel zur Axe geschnittenes Prisma durchdringen. Es genügt daher zur Charakterisirung eines optisch-einaxigen Krystalls vollkommen, in einem solchen Prisma die Brechungscoefficienten der sieben Hauptstrahlen im ordentlichen und ausserordentlichen Bilde zu kennen. — In manchen Krystallen, wie z. B. im Kalkspath ist *E* weniger stark gebrochen, pflanzt sich also rascher fort, als *O*. Diese Krystalle heissen repulsive, oder negative. In den attractiven oder positiven Krystallen, wie z. B. im Bergkrystall, ist der ausserordentliche Strahl der stärker gebrochene.

Eine ebene Welle gewöhnlichen Lichtes, welche in einen optisch einaxigen Krystall eindringt, setzt mit ihren nach allen möglichen Azimuten gerichteten Schwingungen die Elastizitäten ins Spiel, welche ein ihr parallel durch den Mittelpunkt der Elastizitätsfläche geführter Schnitt in diesen Richtungen darbietet. Nach Durchdringung einer sehr dünnen Schichte aber haben sich alle diese Schwingungen nach den Richtungen der grössten und der kleinsten der in diese Ebene fallenden Elastizitäten zerlegt, und diese beiden Composanten von gleicher Intensität pflanzen sich mit ungleichen Geschwindigkeiten fort, proportional den Quadratwurzeln aus den ins Spiel gesetzten Elastizitäten. Denkt man sich diese Geschwindigkeiten, der beiden rechtwinklig zu einander polarisirten Wellen, in welche die eindringende Welle sich auflöst, in der Fortpflanzungsrichtung derselben nach beiden Seiten hin aufgetragen und die nämliche Construction um den Mittelpunct der Elastizitätsfläche für jede denkbare Richtung der ebenen Welle ausgeführt, so hüllen die Wellen, wenn sie eine gleiche Zeit mit diesen Geschwindigkeiten fortgeschritten sind, zwei krumme Oberflächen ein, welche zusam-

men die Wellenoberfläche einaxiger Krystalle bilden. Die Wellenfläche des ordentlichen Strahls ist immer eine Kugel, so gut wie diess im Glase, im Wasser, oder in Krystallen des regulären Systems (Alaun, Steinsalz) der Fall ist. Die Wellenfläche des ausserordentlichen Strahls ist ein Umdrehungsellipsoid, dessen Umdrehungsaxe mit der optischen Axe zusammenfällt und immer dem Durchmesser der Wellenfläche *O* an Länge gleich ist. In den negativen Krystallen hüllt das Ellipsoid die Kugel, in den positiven die Kugel das Ellipsoid ein.

Die Umdrehungsaxe und der Durchmesser des Aequators im Umdrehungsellipsoid verhalten sich wie die Brechungsverhältnisse des ausserordentlichen und ordentlichen Strahls. Für Kalkspath und Bergkrystall sind diese Verhältnisse die folgenden:

	Kalkspath.		Bergkrystall.	
	O	*E*	*O*	*E*
B	1,65308	1,48391	1,54090	1,54990
C	1,65452	1,48455	1,54181	1,55086
D	1,65850	1,48635	1,54418	1,55328
E	1,66360	1,48868	1,54711	1,55631
F	1,66802	1,49075	1,54965	1,55894
G	1,67617	1,49453	1,55425	1,56365
H	1,68330	1,49780	1,55817	1,56772

Um für ein auf einen Kalkspathkrystall fallenden Strahlenbündel *ab ef*, (Fig. 314), die Richtung der gebrochenen Strahlen durch eine ähnliche Construction zu finden, wie diess No. 579 für die einfache Brechung geschehen ist, nehmen wir zunächst an,

Fig. 314.

die Einfallsebene falle mit einem Hauptschnitt zusammen und beziehen die Construction auf den Strahl *D*. Während der Punct *g* der ebenen Welle *bg* den Weg *gf* durchläuft, hat sich von dem Puncte *f* die Welle des ordentlichen Strahls kugelförmig, die Welle des ausserordentlichen Strahls in Gestalt eines Ellipsoids ausge-

breitet. Es verhalten sich der Durchmesser der Kugel und die kleine Axe (b) des Ellipsoids zu gf, wie 1 : 1,658; die grosse Axe (a) des Ellipsoids zu gf, wie 1 : 1,486, also

$$gf : b : a = 1 : 0{,}603 : 0{,}673.$$

Aehnliche Wellen, nur mit verhältnissmässig kürzeren Halbmessern, werden sich von allen zwischen b und f liegenden Puncten ausgebreitet haben, und die ebenen Wellen fh und fn, welche sämmtliche Kugelwellen oder sämmtliche ellipsoidische Wellen berühren, gehören dem ordentlich oder dem ausserordentlich gebrochenen Strahl an. Die Richtung dieser Strahlen ist daher bh und bn. Wie man sieht, steht nur der Strahl O auf der zugehörigen ebenen Welle rechtwinklig, für den Strahl E gilt dies im Allgemeinen nicht mehr. Wenn die Einfallsebene nicht mit einem Hauptschnitte zusammenfällt, so lehrt die Construction, dass der ausserordentlich gebrochene Strahl dann selbst aus der Einfallsebene heraustritt; bei dem ordentlich gebrochenen Strahl ist dies niemals der Fall.

Wenn eine ebene Welle gewöhnlichen Lichtes in der Richtung der krystallographischen Hauptaxe fortschreitet, setzen die Schwingungen jedes Azimuts eine gleiche Elasticität ins Spiel und werden daher mit gleicher Geschwindigkeit fortgepflanzt; jeder Grund einer Polarisirung oder Doppelbrechung fällt somit weg.

Die Brechungsverhältnisse der Substanzen überhaupt ändern sich mit der Temperatur. Die Aenderung ist aber bei den doppelbrechenden Körpern im ordentlichen und ausserordentlichen Strahl nicht gleich, so dass die Stärke der doppelbrechenden Kraft von der Temperatur abhängig erscheint*). Bei dem Kalkspathe z. B. vermindert sie sich, wenn derselbe erwärmt wird und es steht diese Abnahme offenbar im engen Zusammenhang mit der Formänderung des Krystalls, welcher sich in Richtung der Hauptaxe am stärksten ausdehnt, so dass das Rhomboeder sich immer mehr der Würfelform nähert.

585. In den optisch-zweiaxigen Krystallen erleidet keiner der beiden Strahlen die ordentliche Brechung. Fresnel gelang es, die optischen Erscheinungen, welche diese Krystalle darbieten, sämmtlich aus der Annahme zu erklären, dass der Aether nach drei zu einander rechtwinkligen Richtungen (Elasticitätsaxen) ungleiche Elasticität besitze. Wenigstens genügt die Theorie in aller Strenge für die Krystalle des rhombischen Systems, während die Theorie der Verbreitung des Lichts in den schiefaxigen Krystallen noch einige Dunkelheiten darbietet.

Die Elasticitätsfläche ist bei den zweiaxigen Krystallen keine Umdrehungsfläche mehr, sondern hat drei aufeinander rechtwinklige ungleiche Hauptaxen, deren Verhältniss für jeden Krystall aus den Brechungscoefficienten derjenigen Strahlen abgeleitet werden kann, welche den Aether in Richtung dieser Axen in Bewegung setzen. Es sei a die grösste, b die mittlere, c die kleinste Elasticitätsaxe. Schleift man ein Prisma so, dass die mit kleinster Ablenkung durchgehenden Strahlen sich in der Richtung von

*) Rudberg in Pogg. Ann. XXVI, 291.

a bewegen, so sind die beiden Farbenbilder so polarisirt, dass sie den Aether in der Richtung von c und von b in Bewegung setzen. Man erhält daher aus dieser Messung den grössten (n) und den mittleren (n') der drei charakteristischen Brechungscoefficienten des Mittels. Ein zweites Prisma, durch welches die Strahlen in ihrer kleinsten Ablenkung in der Richtung von b gehen, gibt zwei nach c und a schwingende Strahlen, welchen der grösste (n) und kleinste (n'') der drei Brechungscoefficienten angehören. Ein drittes Prisma, in welchem die Strahlen sich in der Richtung von c bewegen, würde zur Controle der vorhergehenden Messungen die Brechungsverhältnisse n' und n'' liefern. Rudberg*) hat diese Messungen am Arragonit und am Topase ausgeführt. Die Grössen $\frac{1}{n}$, $\frac{1}{n'}$, $\frac{1}{n''}$ sind den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten in den drei Hauptrichtungen, die Grössen $\frac{1}{n^2}$, $\frac{1}{n'^2}$, $\frac{1}{n''^2}$, der kleinsten, mittleren, und grössten Elasticität des Aethers in Richtung der Elasticitätsaxen proportional.

Jede in einen zweiaxigen Krystall eindringende ebene Welle gewöhnlichen Lichtes löst sich in zwei andere ebene, rechtwinklig gegeneinander polarisirte Wellen auf.

Um die Schwingungsrichtungen zu finden, hat man nur parallel mit der Welle eine Ebene durch den Mittelpunct der Elasticitätsfläche zu legen, welche dieselbe jedesmal nach einer geschlossenen Curve schneidet. Der grösste und kleinste Durchmesser geben die Schwingungsrichtung an; und die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten der beiden polarisirten Wellen sind den Quadratwurzeln aus diesen Durchmessern proportional. Denkt man sich solche ebene Wellen in allen denkbaren Richtungen durch den Mittelpunct der Elasticitätsfläche gelegt, und dann gleichzeitig mit den eben bestimmten Geschwindigkeiten in Bewegung gesetzt, so hüllen sie nach einem gewissen Zeitabschnitt die Wellenfläche der zweiaxigen Krystalle ein. Fresnel gelang es, die Gleichung dieser verwickelten Fläche, welche in Fig. 315 nach ihren Durchschnitten mit den drei

Fig. 315.

*) Pogg. Ann. XVII, 1.

durch die Elasticitätsaxen gelegten Coordinatenebenen dargestellt ist, abzuleiten.

In dem horizontalen Durchschnitte umschliesst eine Ellipse, deren Axen der grössten (v) und mittleren (v') Fortpflanzungsgeschwindigkeit gleich sind, einen Kreis, welcher das Mass der kleinsten Fortpflanzungsgeschwindigkeit (v'') zum Radius hat. — In dem von Vorn nach Hinten gerichteten vertikalen Durchschnitte umschliesst ein Kreis, dessen Radius dem Masse der grössten Fortpflanzungsgeschwindigkeit (v) gleichkommt, eine Ellipse deren Axen gleich v' und v'' sind. — In dem andern vertikalen Durchschnitte durchschneidet ein Kreis vom Halbmesser v' eine Ellipse, deren Axen v und v'' sind.

Dieser letztere Durchschnitt ist der interessanteste, er ist deshalb in Fig. 316 noch einmal besonders gezeichnet. Die Puncte P, P sind die

Fig. 316.

Spitzen von trichterförmigen Vertiefungen, welche in der Wellenfläche enthalten sind, und, wie man sieht, pflanzen sich in Richtung der Verbindungslinien jener gegenüber liegenden Puncte nur Strahlen von einerlei Geschwindigkeit fort. Fresnel nannte diese Richtungen die **scheinbaren optischen Axen** zum Unterschied von zwei andern Richtungen MT, in welchen ebene Wellen fortgehen, ohne in zwei rechtwinklig polarisirte Wellenebenen zerlegt zu werden.

Diese Richtungen, welche den Namen der **wahren optischen Axen** führen, stehen rechtwinklig auf den zwei kreisförmigen Durchschnitten, welche sich durch den Mittelpunct der Elasticitätsfläche führen lassen. Mit dem Unterschied einer grössten und kleinsten Elasticität in diesen Durchschnitten fällt der Grund einer Zerlegung und Polarisirung der Lichtwellen weg.

Wenn die Richtung der **grössten** Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes den spitzen Winkel der optischen Axen halbirt, wie z. B. im Topase, so nähert sich der Krystall in seinem Verhalten den positiv-einaxigen und wird deshalb ebenfalls **positiv** genannt. Halbirt dagegen die Richtung der **kleinsten** Fortpflanzungsgeschwindigkeit den spitzen Winkel der optischen Axen, wie z. B. im Arragonit, so nähert sich der Krystall in seinem Verhalten den negativ-einaxigen und wird darum ebenfalls **negativ** genannt. Die Halbirungslinie des spitzen Winkels der optischen Axen hat den Namen

der **Mittellinie**, die Halbirungslinie des stumpfen Winkels den Namen der **Supplementarlinie** und die auf beiden rechtwinklige Axe den Namen **Normale** erhalten*).

Die Wellenfläche zweiaxiger Krystalle kann zur Bestimmung der Richtung der gebrochenen Strahlen ebenso benutzt werden, wie dies S. 641 für die optisch einaxigen Krystalle ausgeführt wurde. Die beiden Strahlen weichen im Allgemeinen aus der Einfallsebene ab und haben keine constanten Brechungsverhältnisse. Um ihre Schwingungsrichtung zu finden, legt man durch den Strahl und die beiden scheinbaren optischen Axen Ebenen. Die Schwingungsrichtung des einen Strahls halbirt den spitzen, die des anderen Strahls den stumpfen Winkel jener beiden Ebenen.

Fällt ein Lichtstrahl dergestalt auf einen zweiaxigen Krystall, dass die gebrochne Welle rechtwinklig auf MT, Fig. 316, vorschreitet, so wird man hier, wie in jedem andern Falle die Richtung der gebrochenen Strahlen finden, wenn man parallel mit der gedachten Welle Berührungsebenen an die Wellenoberfläche legt. In jedem andern Falle aber erhält man **zwei** Berührungsebenen und diesen entsprechend, und nach ihren Berührungspuncten hingehend, **zwei** gebrochene Strahlen. Eine zur MT rechtwinklige Ebene aber berührt die Wellenoberfläche nach einem Kreise, von dem Durchmesser QT, Fig. 316, indem sie die trichterförmigen Vertiefungen der Wellenfläche deckt. Anstatt **zweier** gebrochener Strahlen hat man in diesem Falle **unzählige**, welche nach allen Puncten im Umfang jenes Berührungskreises gehen. Wendet man eine Krystallplatte mit zwei parallelen zur optischen Axe rechtwinkligen Flächen z. B. eine Arragonitplatte (von wenigstens 1 Centimeter Dicke) an, so werden alle jene Strahlen, welche von einem Puncte herkommend im Innern des Krystalls kegelförmig auseinander gingen, nach dem Austritt dem einfallenden Lichte parallel und gehen daher in einer cylindrischen Strahlenhülle fort. Dieser merkwürdige Fall der Brechung wird daher die **cylindrische**, oder **innere kegelförmige** Refraction genannt.

---

*) Sind v, v', v'' die grösste, mittlere und kleinste Geschwindigkeit in den drei Hauptrichtungen eines optischen zweiaxigen Krystalls, n'', n', n die entsprechenden Brechungscoefficienten, so ist $n'' = \frac{1}{v}$, $n' = \frac{1}{v'}$, $n = \frac{1}{v''}$. Die Gleichungen der Ellipse und des Kreises in der Ebene der optischen Axen sind:

$$n''^2 y^2, + n^2 x^2 = 1, \text{ und: } n'^2 (y^2 + x^2) = 1.$$

Aus diesen beiden findet man die Abscisse und Ordinate des Durchschnittspunctes ausgedrückt, wie folgt:

$$x^2 = \frac{1}{n'^2} \cdot \frac{n'^2 - n''^2}{n^2 - n''^2} \quad ; \quad y^2 = \frac{1}{n'^2} \cdot \frac{n^2 - n'^2}{n^2 - n''^2}$$

Nennt man den Winkel der scheinbaren optischen Axe mit der Mittellinie α, so ist

für positive Krystalle: für negative Krystalle:

$$sin.^2 \alpha = n'^2 . x^2 = \frac{n'^2 - n''^2}{n^2 - n''^2} ; \; sin.^2 \alpha = n'^2 y^2 = \frac{n^2 - n'^2}{n^2 - n''^2}$$

Eben so leicht lässt sich der Winkel der wahren optischen Axen mit der Mittellinie finden:

$$sin.^2 \beta = \frac{n^2}{n'^2} \cdot \frac{n'^2 - n''^2}{n^2 - n''^2} \quad ; \quad sin^2 \beta = \frac{n''^2}{n'^2} \cdot \frac{n^2 - n'^2}{n^2 - n''^2}$$

Die Strahlen, welche längs den scheinbaren optischen Axen, also in den Richtungen *MP*, Fig. 316, fortgehen, können, da an den Puncten *P* sehr viele Wellenebenen berühren, welche ungleiche Abstände von *M*, also ungleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeiten haben, aus der Brechung sehr vieler Strahlen hervorgegangen sein, welche in allen möglichen Azimuten und unter verschiedenen Incidenzen auf die Krystalloberfläche trafen. Ebenso werden diese längs *MP* fortgehenden Strahlen beim Austritt aus dem Krystall, entsprechend den verschiedenen Geschwindigkeiten ihrer Wellen, ungleich gebrochen werden, und somit in einem kegelförmigen Büschel auseinanderweichen, eine Erscheinung, welche den Namen der äusseren kegelförmigen Refraction erhalten hat.

Auch die Erscheinungen der Zurückwerfung an doppelbrechenden Körpern sind nicht so einfach, als diejenigen an isophanen Mitteln. Das Azimut der Polarisation ist von der Neigung der reflectirenden Fläche und der Einfallsebene gegen die Krystallaxen abhängig. Bei der inneren Reflexion entsprechen einem einfallenden im Allgemeinen zwei reflectirte Strahlen, welche nicht immer in der Einfallsebene bleiben. — Mit zunehmendem Brechungscoefficienten tritt auch bei den Krystallen die elliptische Polarisation immer mehr hervor, so dass die undurchsichtigen metallisch glänzenden Krystalle, wie z B. Realgar und Bleiglanz, sich in dieser Beziehung den Metallen ähnlich verhalten.

586. **Farbenerscheinungen der Krystalle im polarisirten Lichte.** — Die Farbenerscheinungen, welche Krystallplatten im polarisirten Lichte zeigen, waren schon zum grossen Theil bekannt, die Gesetzmässigkeiten in ihrem Auftreten waren, namentlich von Biot und Arago, sowie von Young (1814), studirt und zum Theil schon erklärt, ehe Fresnel in seinem berühmten „mémoire sur la double réfraction" die Theorie der doppelten Strahlenbrechung aus der Annahme von Transversalwellen und einer nach verschiedenen Richtungen ungleichen Elasticität des Aethers vollständig entwickelt hatte.

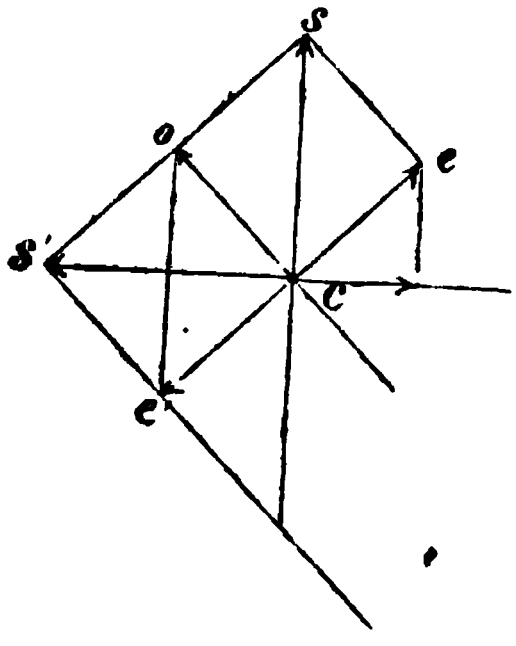
Wenn man eine Platte eines doppelbrechenden Krystalls, deren parallele Flächen nicht gerade rechtwinklig auf einer optischen Axe stehen, zwischen die gekreuzten Spiegel des Nörrenberg'schen Apparates oder zwischen gekreuzte Nikols bringt, und sie in ihrer eigenen Ebene dreht, so findet man zwei zu einander rechtwinklige Lagen, in welchen die Platte ohne Einfluss auf die Beschaffenheit des Gesichtsfeldes ist, dieses also dunkel bleibt, wie vorher. In jeder dieser Lagen ist eine der Schwingungsrichtungen, nach welchen gewöhnliches Licht beim Durchgang durch die Krystallplatte zerlegt wird, parallel mit den Schwingungen des vom unteren Spiegel oder vom ersten Nikol kommenden Strahles. Diese Schwingungen gehen also unverändert durch, wie sie durch eine Glasplatte gehen würden.

Dreht man dagegen die Krystallplatte in eine der beiden Lagen, in welchen die Schwingungen des polarisirten Strahls den Winkel der beiden Polarisationsrichtungen im Krystall halbirt, so erblickt man bei Anwendung von weissem Lichte und wenn die Platte hinlänglich dick ist, das Gesichtsfeld hell.

Ist die Krystallplatte keilförmig zugeschliffen und wendet

man homogenes Licht an, so zeigt die Platte parallel mit der scharfen Kante des Keils eine grosse Anzahl abwechselnd heller und dunkler Streifen. Dreht man den analysirenden Spiegel oder Nikol um 90^0, so treten an die Stelle der dunkeln Streifen helle, und umgekehrt.

Fig. 317.



Gehen wir nun zur Erklärung dieses Phänomens über. Man sieht zunächst ein, dass, wenn die Schwingungsrichtung *cs* (Fig. 317) des polarisirten Strahls den Winkel der beiden Schwingungsrichtungen im Krystall halbirt, man zwei Seitenschwingungen *co* und *ce* von gleicher Stärke erhalten müsse. Diese pflanzen sich jedoch mit ungleicher Geschwindigkeit fort, und nehmen daher einen Gangunterschied an, welcher von der doppelbrechenden Kraft des Krystalls, der Neigung der Flächen der Platte gegen die Axen und übrigens, wenn diese Umstände als gegeben angenommen werden, von der Dicke der Platte abhängig und zwar dieser direct proportional ist.

Ziehen wir zunächst die Stellen der keilförmigen Krystallplatte in Betracht, an welchen der Gangunterschied der beiden Strahlen eine Anzahl ganzer Wellenlängen ausmacht, so wirken die beiden Seitenschwingungen bei ihrem Austritt aus der Platte auf ein Aethertheilchen im Sinne von *co* und *ce* (Fig. 317). Die resultirenden Schwingungen sind daher nach *cs* den ursprünglichen Schwingungen parallel gerichtet und können daher nur bei parallelen Spiegeln reflectirt werden. Alle diese Stellen erscheinen bei gekreuzten Spiegeln dunkel. Betrachten wir nunmehr diejenigen Stellen, an welchen der Gangunterschied der Strahlen *O* und *E* einer ungeraden Anzahl halber Wellenlängen gleichkommt, so wird beim Austritt der Strahlen aus der Platte ein Aethertheilchen von dem Strahle *E* in der Richtung *ce'* bewegt, in dem Augenblick, in welchem der Strahl *O* es nach *co* treibt. Es bewegt sich daher nach der Resultirenden *cs'*, und diese Schwingungen werden bei gekreuzten Spiegeln reflectirt; die betreffenden Stellen erscheinen unter diesen Umständen hell, bei parallelen Spiegeln dagegen dunkel.

Die Streifen, welche die keilförmige Platte zeigt, sind aus bekannten Gründen breiter im homogenen rothen Lichte, als im blauen und violetten, und bei Anwendung von weissem Lichte treten regenbogenfarbige Bänder auf, in ihrer Farbenfolge ganz ähnlich den Newton'schen Ringen, und zwar bei gekreuzten Spie-

geln derjenigen im reflectirten, bei parallelen Spiegeln derjenigen im durchgehenden Lichte entsprechend. Die Farben verlieren sich bei einiger Dicke der Platte bald in einem Weiss höherer Ordnung.

Wenn man hinlänglich dünne Platten mit parallelen Flächen, wie man sie namentlich aus dem leichtspaltbaren Gyps von Fontainebleau und aus Glimmer erhalten kann, in der oben beschriebenen Lage in den Polarisationsapparat bringt, so erscheinen sie gleichmässig gefärbt. Die Farbe verschwindet, wenn man der Einfallsebene des analysirenden Spiegels ein Azimut von 45° gibt, weil dann nur die eine Composante der im Krystall zerlegten Schwingungen, also entweder nur der Strahl *O* oder der Strahl *E* reflectirt wird. Bei einem Azimut von 90° tritt die complementäre Färbung auf.

Um zu bestimmen von welcher Ordnung der Farbenton eines Krystallblättchens ist, kreuzt man dasselbe mit einer keilförmigen Platte, so dass die Schwingungsrichtungen von *O* in dem Plättchen mit der Schwingungsrichtung von *E* in dem Keile zusammenfällt. An der Stelle, an welcher der Keil mit der Platte gleiche Dicke hat, ist der farbige Streif bei gekreuzten Spiegeln durch eine dunkele, bei parallelen Spiegeln durch eine helle Franse ersetzt.

Eine rechtwinklig gegen die optische Axe geschnittene Platte von Kalkspath, oder eines andern optisch-einaxigen Krystalls (mit Ausnahme des Bergkrystalls) zeigt unter den angegebenen Umständen keine Einwirkung auf das polarisirte Licht, wie dünn man dieselbe auch wählen mag. Bringt man aber eine solche Platte zwischen zwei gekreuzten Turmalinen dicht vor das Auge, so dass man noch in solchen Richtungen durchzusehen vermag, welche merkliche Winkel mit der optischen Axe machen, so erblickt man die Erscheinung Fig. 2. Pl. VI; das helle Feld von schwarzen Büscheln durchschnitten, welche rechtwinklig in einem Kreuz zusammenstossen und um den Mittelpunct concentrische farbige Ringe, von einer ähnlichen Farbenfolge, wie in den oben beschriebenen Streifen der keilförmigen Krystallplatte. Stellt man die beiden Turmaline parallel, so geht das schwarze Kreuz in ein weisses, die Farben der Ringe gehen in die complementären über *).

---

*) Da die Turmaline das durchgehende Licht immer mehr oder weniger färben, so muss man sich, wenn man die Interferenzfarben in voller Reinheit sehen will, anderer Vorrichtungen bedienen. Man kann das Licht durch Brechung in einem Bündel sehr dünner Glasplatten polarisiren und dann durch eine Convexlinse in einen Punct concentriren. Stellt man hier die Krystallplatte rechtwinklig gegen die Axe des Strahlenbüschels auf, so wird sie von den einzelnen Strahlen in sehr verschiedenen Neigungen gegen die optische Axe durchlaufen. Eine zweite Linse macht die Strahlen parallel

Da man weiss, dass mit der Neigung gegen die optische Axe auch der Gangunterschied des ordentlichen und ausserordentlichen Strahls zunimmt, so bedarf die Entstehung der concentrischen Farbenringe keiner weiteren Erklärung. Der Gangunterschied ist übrigens auch der Dicke der Platte proportional, daher die Ringe um so weiter auseinander rücken, je dünner man die Platte schleift. — Denken wir uns die Axe des polarisirenden Turmalins vertikal, die des analysirenden horizontal, so werden alle Strahlen, welche in einer durch den optischen Mittelpunct des Auges gehenden und rechtwinklig zur Krystallplatte gestellten Vertikal- und Horizontalebene den ersten Turmalin durchdringen, in der zwischen die Turmaline geschobenen Krystallplatte nicht zerlegt, weil die Schwingungen der ersteren sämmtlich im Hauptschnitt, die der letzteren rechtwinklig gegen den Hauptschnitt gerichtet sind. Diese Schwingungen ändern ihre Richtung nicht und werden daher vom zweiten Turmalin nicht durchgelassen; daher das schwarze Kreuz. Dass dasselbe eine gewisse Breite hat, erklärt sich daraus, dass auch die in der Nähe jener Ebene vorbeigehenden Strahlen eine geringe Zerlegung erfahren, und daher immer noch grösstentheils von dem zweiten Turmalin aufgehalten werden.

Die Anordnung der Farben in den kreisförmigen Ringen wird durch das Verhältniss der Doppelbrechung für die verschiedenen Farbenstrahlen einigermassen bedingt. Sie kann durch diesen Umstand nur dann wesentlich geändert werden, wenn jenes Verhältniss ein abnormes ist, wie z. B. in dem Apophyllit, welcher als positiver Krystall auf die brechbareren Farben, als negativer auf die weniger brechbaren Strahlen wirkt und sich für einen mittleren Strahl einfach brechend verhält.

Die Ringsysteme, welche zweiaxige Krystalle im polarisirten Lichte zeigen, unterscheiden sich so auffallend von denjenigen einaxiger, dass die Mineralogen diese Erscheinungen als ein bequemes Unterscheidungszeichen der Species und der Krystallsysteme benutzen. Ein senkrecht zur Mittellinie geschnitttener Arragonit gibt zwischen gekreuzten Turmalinen die Farbenerscheinung (Fig. 3. Pl. VI.). Das schwarze Kreuz erklärt sich wie bei den einaxigen Krystallen. Die Form der gleichfarbigen (isochromatischen) Curven beweist, dass hier der Gangunterschied von *O* und *E* im zusammengesetzten Ver-

---

und führt sie zum Zerlegungsspiegel, eine dritte Linse endlich lässt sie nach dem Auge convergiren. Soleil hat diesen Apparat, allerdings noch mit Anwendung einer Turmalinplatte, so eingerichtet, dass man im horizontalen Sinne durchsehen und ihn somit direkt nach einer Lichtquelle richten kann. Die Krystallhalter gestatten eine Wendung der Platte, so dass man in verschiedenen Neigungen gegen die Axe durchsehen kann.

hältnisse des Abstandes von beiden optischen Axen wächst. Die Lemniscate hat die Eigenschaft, dass für jeden Punct der nämlichen Curve das Produkt der Abstände von zwei festen Puncten ein constantes ist.

Dreht man die Krystallplatte zwischen den gekreuzten Turmalinen so, dass die Ebene der Axen den Winkel der beiden Schwingungsrichtungen der Turmalinen halbirt, so geht das schwarze Kreuz in zwei getrennte hyperbolische Büschel über (Fig. 4 Pl. VI.). Das Ringsystem (Fig. 5 Pl. VI) sieht man, wenn die Krystallplatte rechtwinklig auf die eine der beiden optischen Axen geschnitten ist.

Wenn man die hyperbolischen Büschel (Fig. 4, Pl. VI.) in der Nähe der Axenpuncte ins Auge fasst, so sollte man von ihnen aus nach Aussen und nach Innen zunächst den weissgrauen Farbenton erster Ordnung zu sehen erwarten. Bei den meisten Krystallen indessen bemerkt man mehr oder minder lebhafte farbige Säume, bei dem Salpeter z. B auf der inneren Seite einen blauen auf der äussern einen rothen Saum. Es beweisst diess, dass die Richtungen, nach welchen die vom ersten Turmalin kommenden Schwingungen durchgehen, ohne zerlegt zu werden, d. h. die Richtung der optischen Axen, für die verschieden brechbaren Strahlen nicht die nämliche ist. Der Winkel der optischen Axen nimmt bei dem Salpeter ven den violetten nach den rothen Strahlen hin ab, bei dem weinsauren Kali findet das umgekehrte statt. Indessen liegen die Axen der verschiedenen Farbenstrahlen bei den Krystallen des rhombischen Systems sämmtlich in der nämlichen Ebene und haben einerlei Mittellinie. Bei den Krystallen der schiefaxigen Systeme weichen auch die Mittellinien (Gyps) und die Ebenen der Axen (Borax, Weinsäure) für die verschiedenen Farben von einander ab *).

---

*) Wenn man an einem rechtwinklig zur Mittellinie geschnittenen zweiaxigen Krystalle den Winkel $2\alpha'$ der Richtungen gemessen hat, in welchen man die Axenpuncte erblickt, so hat man, um zum Winkel der Axen innerhalb des Krystalls überzugehen, noch die Brechung zu berücksichtigen, welche die längs der optischen Axen fortgegangenen Strahlen bei ihrem Austritt aus dem Krystall erleiden. Man findet aus der Gleichung $\frac{sin.\ \alpha'}{n'} = sin.\ \alpha$ den halben Winkel α der optischen Axen im Krystall, wenn man für n' den mittleren der drei charakteristischen Brechungscoefficienten, S. 643, annimmt, da wie Fig. 315 zeigt, in der Richtung MP die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit stattfindet.

Ueber die Aenderung der Farbenerscheinungen, wenn anstatt geradlinig polarisirtem, kreisförmig polarisirtes Licht angewandt wird, Dove in Pogg. Ann. XI, 457, 482.

Ueber den Einfluss der Temperaturveränderung auf die Lage der optischen Axen siehe Brewster in Pogg. Ann. XXVII, 480.

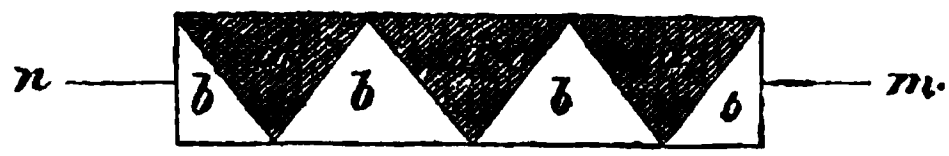
587. Natürliche Farben der Krystalle. — Mit der ungleichen Brechung des ordentlichen und ausserordentlichen Strahls in den doppelbrechenden Körpern ist auch eine ungleiche Absorption derselben verbunden. Babinet will bemerkt haben, dass der stärker gebrochene Strahl immer auch der vorzugsweise absorbirte sei. — In manchen Krystallen trifft die Absorption, je nach der Schwingungsrichtung des Lichtes die verschiedenen Farbenstrahlen in auffallend ungleichem Verhältniss, so dass ein solcher Krystall, je nach der Richtung, in welcher man hindurch sieht, ungleich gefärbt erscheint. Der Dichroit hat von dieser Eigenschaft seinen Namen. — Haidinger hat darauf aufmerksam gemacht, dass, wenn man die Farben derjenigen Strahlen, welche den Aether in Richtung der Elastizitätsaxen in Bewegung setzen, bestimmt habe, man aus der Mischung dieser drei Axenfarben alle Farbentöne, welche der Krystall in beliebigen Richtungen zeigt, erklären könne.

Auch im reflectirten Lichte zeigen manche doppelbrechende Krystalle verschiedene Farben, je nach der Lage der reflectirenden Fläche und der Einfallebene gegen die Krystallaxen. So das Kalium- und Magnesiumplatincyanür, das Murexid etc. Haidinger hat diese Erscheinung mit dem Namen des orientirten Flächenschillers belegt.

Nichts beweist deutlicher, dass die Doppelbrechung sowie die Farbenerscheinungen im polarisirten Lichte durch eine ungleichmässige, je nach der Richtung verschiedene Lagerung der Moleküle bedingt ist, als der Umstand, dass man die nämlichen Erscheinungen auch in homogenen (isophanen) Mitteln, wie z. B. in Glas und in regulären Krystallen, durch künstliches Aufheben des gleichmässigen Molekularzustandes hervorrufen kann.

Werden Glasprismen $a, a, a, \ldots b, b, b \ldots$, so wie sie in Fig. 318 im Querdurchschnitt gezeichnet sind, zusammengelegt, und sind die Prismen a, a, a

Fig. 318.



etwas länger, so dass sie beiderseits um Weniges hervorragen, so können sie in einer Schraubenpresse einem in der Richtung ihrer Kanten wirkenden Drucke ausgesetzt werden, ohne dass dieser Druck gleichzeitig auch die Prismen $b b \ldots$ trifft. Sieht man alsdann in der Richtung $m n$ durch die Glasmasse, so erscheint eine feine Nadel, welche parallel den Kanten der Prismen gehalten wird, doppelt. Die beiden Bilder gehen in eines zusammen, so wie der Druck zu wirken aufhört.

Plötzliche Abkühlung stark erhitzter Glasplatten hat ebenfalls ungleichmässige Lagerung der Moleküle zur Folge. Solche Platten zeigen im Nörrenberg'schen Polarisationsapparat lebhafte Farben unter den nämlichen Umständen und mit den nämlichen Eigenthümlichkeiten, wie dünne Platten doppelbrechender Krystalle. (Siehe Neuman in Pogg. Ann. LIV, 449.)

588. Erscheinungen im Bergkrystall. — Circularpolarisation. — Legt man eine weniger als 1 Centimeter dicke, rechtwinklig zur Axe geschnittene Quarzplatte in den Nörrenberg'schen Apparat, so sieht man dieselbe gefärbt, während Platten aus andern einaxigen Krystallen unter diesen Umständen keine Farben zeigen. Dreht man den Zerlegungsspiegel, so ändert sich die Farbe der Quarzplatte und erst nach einer Drehung

der Einfallsebene um zwei rechte Winkel beginnt die nämliche Reihe von Farben von Neuem. Eine Drehung der Platte bei feststehenden Spiegeln hat keinen Einfluss auf die Farben. Bei Untersuchung verschiedener Bergkrystallplatten bemerkt man, dass es zwei verschiedene Arten gibt, solche, welche bei der Drehung der Schwingungsebene des Zerlegers nach Rechts die Farben in der Ordnung: Roth, Orange, Gelb u. s. w. bis Violett folgen lassen (rechtsdrehende Bergkrystalle) und solche, bei welchen die Farben in der nämlichen Folge auftreten, wenn man die Schwingungsebene des Zerlegers nach Links dreht (linksdrehende Bergkrystalle). Aeusserlich unterscheiden sich diese beiden Arten von Quarz nur durch kleine Plagiederflächen, welche in der oberen Ecke der Seitenflächen der sechsseitigen Säule entweder auf der rechten oder der linken Seite vorkommen, je nachdem der Quarz ein rechts- oder ein linksdrehender ist.

Lässt man homogenes Licht in den Nörrenberg'schen Apparat einfallen und sind die Spiegel gekreuzt, das Feld also dunkel, so erscheint dasselbe alsbald hell, wenn man eine Quarzplatte in den Apparat bringt. Durch Drehung des Zerlegers um einen gewissen Winkel α kann man ihm jedoch eine Stellung geben, in welcher wieder alles Licht ausgelöscht wird. Man sagt daher die Polarisationsebene (oder die Schwingungsebene) des geradlinig polarisirten Lichtes sei um den Winkel α gedreht. Bei Wiederholung dieser Beobachtungen mit verschieden dicken Quarzplatten und mit Strahlen verschiedener Brechbarkeit, gelangte Biot zu den beiden folgenden Sätzen:

1) Die Drehung der Schwingungsebene ist der Dicke der Quarzplatte proportional. 2) Die Drehungswinkel für verschiedene Farbenstrahlen verhalten sich umgekehrt, wie die Quadrate der Wellenlängen. Neuere Versuche*) haben indessen gelehrt, dass der zweite Satz nur annähernd richtig ist. Im folgenden sind die Drehungswinkel gegeben, für die den Fraunhofer'schen Linien entsprechenden Strahlen durch eine Quarzplatte von 1mm Dicke:

B	$15^0,3$	E	$27^0,5$
C	$17^0,2$	F	$32^0,5$
D	$21^0,7$	G	$42^0,2$

Da die Schwingungsebene verschiedener Lichtsorten, nachdem das Licht den Quarz durchdrungen hat, verschiedene Azimute angenommen haben, so sieht man ein, warum bei der Drehung des Zerlegers immer andere Farben ins Maximum der Reflexion treten. Da aber nur derjenige Strahl völlig unterdrückt wird, dessen Schwingungsrichtung mit der Einfallsebene des Zerlegers zusam-

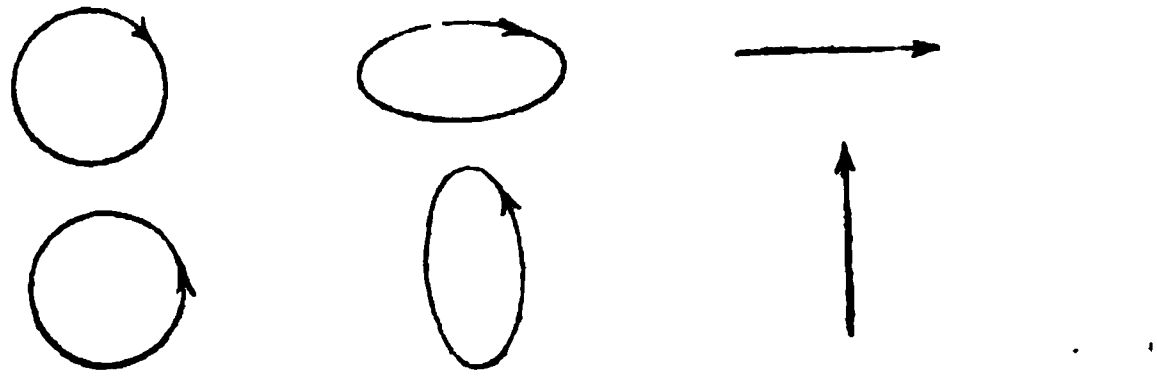
---

*) Broch im Repertorium der Physik, Band VII, p. 113.

menfällt, alle übrigen Strahlen aber, wiewohl mit ungleicher Intensität reflectirt werden, so wird man nie reine prismatische Farben, sondern immer nur Mischtöne erhalten. — Zwischen parallelen Spiegeln gibt eine Quarzplatte von 3,75mm Dicke, einen zwischen Blau und Roth liegenden Ton, welcher vorzugsweise schnell, bei geringer Drehung des Zerlegers nach der einen oder andern Seite sein Ansehen ändert, indem er in Blau oder Roth übergeht. Er hat darum von Biot den Namen des empfindlichen Farbentones (couleur sensible) erhalten. Zwischen gekreuzten Nikols oder Spiegeln gibt denselben Ton eine Quarzplatte von 7,5mm Dicke.

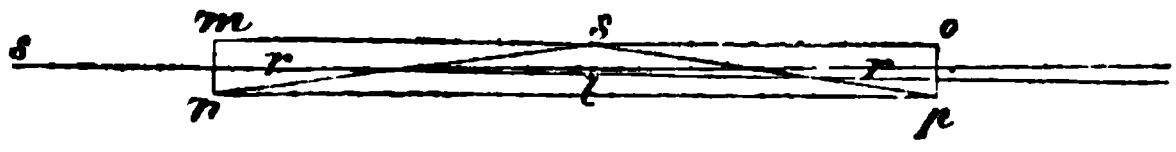
Die eben beschriebenen Farbenerscheinungen erweckten in Fresnel den Gedanken, dass auch längs der optischen Axe des Bergkrystalls sich zwei Strahlen mit ungleicher Geschwindigkeit fortpflanzen möchten. Geradlinige Polarisation konnte man jedoch denselben nicht zuschreiben, weil bei der Drehung der Quarzplatte im Polarisationsapparat weder die Intensität noch die Farbe des Feldes sich ändert. Rechtwinklig gegen die optische Axe durchdringen den Quarz zwar auch zwei geradelinig und senkrecht aufeinander polarisirte Strahlen, wie jeden andern optisch-einaxigen Krystall. Allein wenn die Richtung der Strahlen sich der optischen Axe nähert, geht die geradlinige Polarisation, wie diess Fig. 319 andeuten soll, immer mehr in die elliptische und zwar mit entgegengesetzter Drehung über. Mit einem

Fig. 319.



Nikol betrachtet verschwinden die beiden Bilder in keinem Azimut desselben. Es liegt nahe, anzunehmen, dass die elliptische Polarisation in die kreisförmige übergeht, wenn die Richtung des Strahls der optischen Axe parallel wird. Fresnel hat das Vorhandensein zweier solcher circular polarisirten Strahlen von ungleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit direct nachgewiesen. Er wandte zu diesem Zwecke zwei Prismen *r*, *r*, Fig. 320, von rechtsdrehendem Bergkrystall in Verbindung mit einem Prisma *l*, von

Fig. 320.

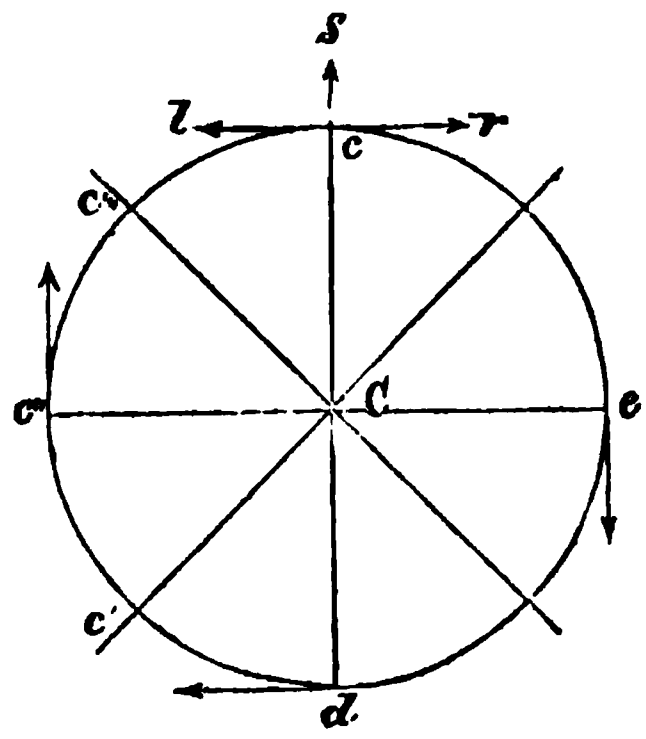


linksdrehendem Bergkrystall an, so geschnitten, dass die Flächen *mn* und *op* rechtwinklig gegen die optische Axe stand und ein Strahl *sa* in Richtung der Axe fortging. Da nun in einem rechtsdrehenden Krystall der rechtsgewundene Strahl, in einem linksdrehenden der linksgewundene die grössere

Geschwindigkeit hat, so muss wegen der Aenderung der Geschwindigkeit an der Grenzfläche *n s* eine erste, an der Grenzfläche *s p* eine zweite Brechung stattfinden. Die beiden Strahlen, deren Dasein Fresnel vermuthet hatte, wurden auf diese Weise getrennt und konnten einzeln auf ihren Polarisationszustand untersucht werden.

Wenn *CS* (Fig. 321) die ursprüngliche Schwingungsrichtung des polarisirten Lichtes ist und diese Schwingungen beim Eintritt in den Quarz in zwei circuläre *cr* und *cl* zerlegt werden, so wird die Richtung der geradlinigen Schwingung, zu welcher sich die beiden kreisförmigen beim Austritt aus dem Krystall wieder zusammensetzen, von dem Gangunterschied abhängen, welchen diese Strahlen im Quarze angenommen haben. Ist dieser Gangunterschied eine ganze Schwingung, so treffen die kreisförmigen Oscillationen in *c* oder *d* zusammen, es stellt sich dann die frühere Schwingungsrichtung wieder her. Ist der Gangunterschied eine Viertelschwingung, so dass die rechtsgehende Bewegung in *e* anlangt, während die linksgehende sich in *c* befindet, so werden beide sich in *c'* begegnen, und die geradlinigen Oscillationen werden nach *Cc'* gerichtet sein; die Schwingungsrichtung ist um einen halben rechten Winkel gedreht. — Ist der Gangunterschied, welchen die beiden circulär polarisirten Strahlen im Quarze annehmen, gleich einer halben Schwingung, so dass die rechtsgehende Bewegung in *d* wenn die linksgehende in *c* anlangt, so begegnen sich beide Bewegungen in *c''*, die geradelinigen Schwingungen sind dann nach *Cc''* gerichtet, also die anfängliche Richtung um einen rechten Winkel gedreht. Ueberhaupt ist die Drehung der Schwingungsebene immer der ebensovielte Theil von zwei Rechten, als der Gangunterschied der beiden Strahlen von einer ganzen Schwingung.

Fig. 321.



Eine rechtwinklig zur Axe geschnittene Quarzplatte zeigt zwischen Turmalinen zwar ähnliche Farbenringe, wie der Kalkspath; aber das schwarze Kreuz fehlt in der Mitte und tritt erst gegen den Rand hin unter einer solchen Neigung gegen die Axe auf, unter welcher sich der Polarisationszustand der beiden Strahlen nicht merklich mehr von dem geradelinigen unterscheidet.

589. Bei dem Quarz ist die Erscheinung der Circularpolarisation an die krystallinische Structur geknüpft, die amorphe Kieselsäure, der Hyalith, äussern keinen ähnlichen Einfluss auf das Licht. Um so überraschender musste die Entdeckung erscheinen, welche von Biot und Seebeck gleichzeitig gemacht wurde, dass eine grössere Anzahl von Körpern, sämmtlich organischen Ursprungs, sowohl in Lösungen, als im starren amorphen Zustande, die Fähigkeit besitzen, die Polarisationsebene zu drehen. Eine Lösung von Rohrzucker oder von Weinsäure in Wasser drehen die Schwingungsebene zur Rechten, reines Terpentinöl, eine Lösung von Fruchtzucker, drehen zur Linken. Eine Lösung von

131,77 gr. Rohrzucker in 1000 gr. Wasser, in einer Säule von 25 Centimeter Länge angewendet, gibt ganz die nämlichen Farbenerscheinungen im polarisirten Lichte, wie eine rechtsdrehende Quarzplatte von 1mm Dicke. Biot, welcher den Gesetzen der Circularpolarisation durch Flüssigkeiten seit mehreren Jahrzehnten eine unausgesetzte Aufmerksamkeit gewidmet hat, führte den Beweis, dass das Vermögen die Schwingungsebene des Lichtes zu drehen, eine den Molekülen innewohnende Eigenschaft ist, unabhängig von einer bestimmten Lagerung derselben. Zuckerlösung, oder Terpentinöl durch ein Uhrwerk in rasche Bewegung gesetzt, verloren nichts von ihrer circularpolarisirenden (drehenden, oder auch schlechtweg optischen) Kraft. Das Terpentinöl wirkt selbst in Dampfform noch merklich auf die Schwingungsrichtung des Lichtes, wenn man es in einer genügend langen Säule (1 bis 2 Meter) anwendet. Auch im starren, amorphen Zustande sind Rohrzucker und Weinsäure noch optisch wirksam. An Zucker- und Weinsäurekrystallen, welche zu den zweiaxigen doppelbrechenden Körpern gehören, ist die Circularpolarisation noch nicht beobachtet worden. Sie könnte sich ohnehin nur in Platten zeigen, welche rechtwinklig zu einer optischen Axe geschnitten wären.

Es folgt hier das Verzeichniss einiger Substanzen, deren Einwirkung auf das polarisirte Licht beobachtet worden ist:

Rechtsdrehend:	Linksdrehend:
Rohrzucker.	Fruchtzucker.
Traubenzucker.	Reines Terpentinöl.
Stärkezucker.	Käufliches Terpentinöl.
Diabeteszucker.	Traubensäure.
Kampher.	Amorphe Weinsäure (unter 22°C).
Weinsäure in Lösung.	Copaivabalsam.
Traubensäure.	Amygdalin.
Käufliches Terpentinöl.	Strychnin.
Citronenöl.	Brucin.
Dextrin.	Morphin.
Cinchonin.	Chinin.
Chinidin.	Santonin.
Narcotin.	Phloridzin.
Hämatoxylin.	Codëin.
	Jalappin.

Wenn man von der nämlichen Zuckerlösung Schichten von verschiedener Dichte nacheinander anwendet, findet man die Drehung der Schwingungsebene der Länge der Säule proportional. Bringt man dagegen bei unveränderter Länge der Säule die doppelte, dreifache Menge Zucker in die Lösung, so wächst die Drehung der Schwingungsebene in gleichem Verhältniss. Offenbar

ist dieselbe also proportional der Menge optisch wirksamer Moleküle, welche das Licht auf seinem Wege durch die flüssige Säule antrifft. Die Dispersion der Schwingungsebenen der verschiedenen Farbenstrahlen durch eine Zuckerlösung sowie durch alle Substanzen, welche in dieser Beziehung untersucht sind, folgt dem nämlichen Gesetze, wie im Quarze, nur die Weinsäure und gewisse Mischungen derselben mit Wasser und Borsäure, die Traubensäure und die optisch wirksamen Salze dieser Säuren zeigten ein abweichendes Verhalten.

Biot hat auf die eben angeführten Erfahrungen den abstracten Begriff der specifischen Rotationskraft gegründet. Ist α die Ablenkung der Schwingungsebene des Strahls B durch eine Säule von Zuckerlösung von l Decimeter Länge, wenn in der Gewichtseinheit dieser Lösung von δ specifischem Gewicht ϵ Gewichtstheile Zucker enthalten sind, so ist die specifische Rotationskraft (α) des Zuckers nach Biot:

$$(\alpha) = \frac{\alpha}{l \,.\, \epsilon \,.\, \delta}.$$

Diese gilt natürlich nur für den betreffenden Farbenstrahl B. — Neuerdings hat man es, in Anbetracht der molekularen Natur des optischen Drehungsvermögens für angemessener gehalten, das specifische Drehungsvermögen anstatt auf die Einheit der Gewichtsmenge und eine hypothetische Dichte 1, auf Aequivalentgewichte der verschiedenen wirksamen Substanzen zu beziehen*).

Da das Wasser, welches dem Zucker zugemischt wird, keine Aenderung des specifischen Drehungsvermögens bewirkt, so darf man dies wohl als einen Beweis ansehen, dass die Zuckermoleküle in den Lösungen in keiner andern Weise beschaffen sind, als im ungelösten Zustande. Anders verhält sich die Weinsäure; ihr Drehungsvermögen wird durch Zusatz von Wasser dem Sinne nach umgekehrt und bedeutend verstärkt. Biot fand, dass die Gleichung $(\alpha) = -1°,555 + 15°,671\ e$, die Zunahme ihres specifischen Drehungsvermögens ausdrückt, wenn e den in der Gewichtseinheit der Lösung enthaltenen Antheil Wasser bedeutet. Noch auffallender ist die Verstärkung des Drehungsvermögens der Weinsäure durch einen geringen Zusatz der an sich optisch unwirksamen Borsäure**). In diesen Fällen muss also eine Aenderung im Bestand der Moleküle angenommen werden. Das Drehungsvermögen des Amygdalins überträgt sich in die Mandelsäure, das des Kamphers in die Kamphersäure, und in deren Salze. Auch das Drehungsvermögen der Weinsäure und Traubensäure ist in vielen Salzen dieser Säuren beobachtet worden. In allen diesen Fällen kann daher eine völlige Auflösung des optisch wirksamen Moleküls nicht stattgefunden haben; allein die Aenderung des specifischen Rotationsvermögens in diesen Fällen ist Zeuge für eine stattgefundene chemische Einwirkung. Aehnliches gilt für die Asparaginsäure und Aepfelsäure, jedoch nur, wenn diese Körper so angewendet werden, wie sie natürlich vorkommen. Asparaginsäure, welche aus optisch unwirksamem fumarsaurem Ammoniak dargestellt wurde und Aepfelsäure, in welche die so gewonnene Asparaginsäure übergeführt wurde, zeigten nach Pasteurs Angaben nicht die geringste Einwirkung auf das polarisirte Licht.

---

*) Wilhelmy in Pogg. Ann. LXXXI, 527.

**) Biot, Ann. chim. phys. 3tes X, 5, 175, 307, 385. XI, 82. XXVIII, 215, 351. XXIX, 35, 341, 430.

Eine andere Entdeckung desselben Physikers hat einen höchst interessanten Zusammenhang zwischen der Krystallform gewisser Körper und dem Sinn der Drehung, welche sie dem polarisirten Licht ertheilen, nachgewiesen. Aus dem traubensauren Natron-Ammoniak und dem traubensauren Natron-Kali setzen sich entgegengesetzt hemiedrische Krystalle in gleicher Menge ab, deren Formen sich zu einander verhalten, wie ein Gegenstand zu seinem Spiegelbild (symmetrische Hemiedrieen). Sondert man diese Krystalle und löst die gleichgebildeten für sich auf, so drehen die beiden Lösungen die Schwingungsebene des Lichtes mit gleicher Stärke, aber in entgegengesetztem Sinne. Mischt man gleiche Gewichtsmengen beider Krystalle, so verhält sich die Lösung optisch neutral, wie vor der Krystallisation. Auch die aus beiden hemiedrischen Bildungen abgeschiedenen Säuren verhalten sich optisch entgegengesetzt. Die rechtsdrehende Säure ist in Nichts von der Weinsäure verschieden, die linksdrehende verhält sich ihr vollkommen analog, nur das circularpolarisirende und krystallographische Verhalten ist gerade entgegengesetzt.

590. Saccharimeter. Es bleibt uns noch übrig, eine technische Methode zu beschreiben, welche auf die optische Wirksamkeit des Zuckers gegründet und mit einem zweckmässigen Messapparat ausgestattet worden ist, um damit den Gehalt an krystallisirbarem Zucker in irgend einer Lösung z. B. im Safte des Zuckerrohrs oder der Runkelrübe, im Syrup, oder im diabetischen Urin und der Milch zu bestimmen.

Wir nehmen zunächst an, dass man in einer an ihren beiden Enden mit parallelen Spiegelplatten geschlossenen Röhre von 250 Millimeter Länge eine klare Lösung, welche ausser krystallisirbarem Zucker keine andere optisch wirksame Substanz enthalte, zwischen die gekreuzten Nikols p und a des Apparates (Fig. 6, Pl. VI.) bringe und dass man nur homogenes Licht von der Brechbarkeit des Strahles B anwende. Man wird den analysirenden Nikol a um einen Winkel α zur Rechten drehen müssen, um das Feld wieder vollkommen dunkel zu erhalten. Die Grösse dieses Winkels findet man mittelst der in Grade getheilten kreisförmigen Scheibe ss, auf welcher ein Zeiger az durch die Drehung des Nikols fortgeschoben wird. Da nun, wie oben angeführt wurde, in einer Röhre von gleicher Länge 11,64 Gewichtsprocente Zucker die Schwingungsebene des Strahls B um $15^0,3$ drehen, so wird man den Gehalt an Zucker in der untersuchten Lösung, ausgedrückt in Gewichtsprocenten aus der Gleichung:

$$x = \frac{\alpha}{15^0,3} \cdot 11,64$$

erhalten.

Die Stellung des Nikols a indessen, bei welcher das Feld völlig verdunkelt ist, lässt sich aus begreiflichen Gründen nur mit geringer Schärfe bestimmen. Soleil hat daher dem Apparate, welcher den Namen Saccharimeter führt, einige Theile zugefügt, welche die Genauigkeit der Messungen in bedeutendem Grade erhöhen.

Zunächst ist hinter dem polarisirenden Nikol eine senkrecht zur Axe geschnittene Bergkrystallplatte *q* (Fig. 326) eingefügt, welche, durch die Mitte des Gesichtsfeldes getheilt, zur Hälfte aus rechtsdrehendem, zur andern Hälfte aus linksdrehendem Quarze besteht. Ihre Dicke ist 3,75 Millimeter, so dass sie zwischen parallelen Nikols den empfindlichen Farbenton zeigt. Senkt man unter diesen Umständen die Zuckerlösung ein, indem man die Röhre auf die Lager *o o* bringt, so wird die Wirkung der rechtsdrehenden Quarzplatte durch den Zucker verstärkt, die der linksdrehenden vermindert, beide Platten nehmen ungleiche Färbung an. Waren die Aenderungen nur gering, so kann man allein durch Drehung des Nikols *a* nach rechts die Gleichheit der Färbung beider Hälften der Doppelplatte wieder herstellen. Diess gelingt jedoch, wegen der ungleich starken Drehung der verschiedenfarbigen Schwingungsebenen nicht mehr, wenn die Zuckerlösung einigermassen concentrirt war. Soleil hat daher zwischen der flüssigen Säule und dem analysirenden Nikol noch den Compensator *C* angebracht. Derselbe (in Fig. 7. Pl. VI. besonders abgebildet) besteht aus zwei ganz gleichen rechtwinkligen Prismen von linksdrehendem Quarze, deren Kathetenflächen *c* und *c'* senkrecht zur optischen Axe stehen. Diese Prismen können mittelst der Schraube *v* durch ein Triebwerk sammt ihren Fassungen seitwärts gegeneinander verschoben werden, so dass sie eine Platte von veränderlicher Dicke repräsentiren. Die eine Fassung trägt eine Theilung *l*, die andere einen Nonius *n* und wenn dieser auf Null der Theilung steht, ist die optische Wirkung beider Prismen durch eine rechtsdrehende Platte *p* gerade compensirt, das ganze System also bezüglich der circularpolarisirenden Wirkung so gut wie nicht vorhanden. Sobald man aber durch die Schraube *v* das Triebwerk in Bewegung setzt, so dass die Dicke der Platte, welche die beiden Prismen bilden, wächst, beginnt eine linksdrehende Wirkung aufzutreten und es leuchtet ein, dass man diese leicht so abmessen kann, dass die rechtsdrehende Wirkung einer Säule mit Zuckerlösung hierdurch gerade compensirt wird. Man hat somit ein bequemes Mittel der Doppelplatte *q* die gleiche Färbung wiederzugeben, welche durch die Zuckerlösung aufgehoben worden war.

Die mit dem Prisma des Compensators verbundene Theilung ist so beschaffen, dass 100 Theile einer Vermehrung der Plattendicke um 1 Millimeter entsprechen. Hat man den Index z. B. um 50 Theile verschieben müssen, um die Gleichheit der Färbung in der Doppelplatte wieder herzustellen, so ist die drehende Wirkung der Zuckerlösung gleich der von 0,5mm Quarz. Die Lösung enthält daher den obigen Daten zu Folge 5,82 Procent Zucker.

Die angegebene Methode reicht nicht aus, wenn die Lösung, ausser krystallisirbarem Zucker, noch andere Substanzen enthält,

welche auf die Polarisationsebene des Lichtes einwirken. Es kommt indessen hier die Erfahrung zu statten, dass der krystallisirbare Zucker durch Erhitzen mit reiner Salzsäure bis zu 68° in unkrystallisirbaren Fruchtzucker umgewandelt wird, welcher das polarisirte Licht in entgegengesetztem Sinne dreht. Da bei dieser Operation alle andern optisch wirksamen Substanzen unverändert bleiben, so kann man mit Hülfe zweier Bestimmungen, einer vor und einer nach der Behandlung mit Salzsäure, den Gehalt an krystallisirbarem Zucker finden.

Gesetzt 1 Procent Rohrzucker in Lösung in einer Röhre von 250 mm Länge bringe die Drehung a hervor, die Lösung enthalte aber A Procent Zucker, von andern optisch wirksamen Substanzen gebe 1 Procent die Drehungen b, c.. und die Lösung enthalte B, C.. Procent derselben, so beobachtet man im Ganzen die Drehung:

$$D = Aa + Bb + Cc + ..$$

worin übrigens a, b, c mit den positiven oder negativen Zeichen zu nehmen sind, je nachdem die Drehung zur Rechten oder zur Linken erfolgt. a' bezeichne die Drehung durch 1 Procent Fruchtzucker, so wird man nach der Behandlung mit Salzsäure eine Drehung

$$D' = - Aa' + Bb + Cc + ..$$

beobachten und es ist $D - D' = A(a + a')$, also die zu bestimmende Zuckermenge:

$$A = \frac{D - D'}{a + a'}.$$

Das Drehungsvermögen des Rohrzuckers, also auch die Grösse a, ist von der Temperatur so gut wie unabhängig, das Drehungsvermögen des Fruchtzuckers dagegen vermindert sich bei steigender Temperatur. Nimmt man dasjenige des Rohrzuckers zu 100 an, so ist das Drehungsvermögen des Fruchtzuckers:

bei 10°	bei 15°	bei 20°	bei 25°	bei 30°	bei 35°
39	36,5	34	31,5	29	26,5

Nimmt man in obiger Formel für D und D' die Ablesungen des Compensators in Hundertsteln des Millimeters Quarz, so hat man $a = 8{,}62$ zu setzen und a'

bei 10°	bei 20°	bei 30°
3,36	2,93	2,5

Hat man z. B. bei 20° Temperatur vor der Behandlung mit Säure 80, nachher — 40,6 abgelesen, so entspricht diess einer Zuckerlösung von

$$\frac{120{,}6}{8{,}62 + 2{,}93} = 10{,}4$$

Procentgehalt.

Dabei ist immer vorausgesetzt, dass die Ablenkungen durch eine Säule von 250 Millimeter Länge hervorgebracht wurden. Wäre nur Rohrzucker in der Lösung gewesen, so würde die erste Ablösung = 90 Theile, die zweite — 30,6 Theile ergeben haben.

591. Faraday hat die Entdeckung gemacht, dass Substanzen, welche an und für sich die Schwingungsebene des Lichtes nicht drehen, wie z. B. Flintglas, diese Fähigkeit unter Einwirkung

benachbarter Magnetpole oder des electrischen Stromes annehmen. Man bringt die Substanz zwischen zwei Magnetpole, oder umgiebt sie mit einer Kupferspirale und lässt den polarisirten Lichtstrahl parallel der Axe des Magneten oder der Spirale durchgehen. Mit der Richtung des Stromes ändert sich auch die Richtung der Drehung. Ihre Stärke ist gering gegen die Drehung solcher Substanzen, welche an sich optisch wirksam sind; sie verhält sich übrigens der Stromstärke proportional.

Die Drehungen an sich optisch wirksamer Substanzen, wie z. B. von Terpentinöl, können durch den elektrischen Strom, je nach der Richtung desselben, verstärkt oder geschwächt werden. Die Zu- oder Abnahme der Drehungswinkel für die einzelnen Farbenstrahlen bleibt hierbei der anfänglichen Grösse derselben proportional.

592. Chemische Wirkungen des Lichtes. — Wenn man das Licht als einen Bewegungszustand des Aethers auffasst, eingeleitet durch die Schwingungen, in welche die materiellen Moleküle bei dem Glühen und dem Verbrennungsprocesse gerathen, so kann es nicht überraschen, wenn man wahrnimmt, dass chemische Verbindungen durch Bestrahlung in ihrem Bestande geändert, oder aufgelöst werden können. Der Einfluss des Lichtes auf die Vegetation, das Bleichen vieler Farben im Sonnenlichte sind Thatsachen, deren Beobachtung einem Jeden leicht zugänglich sind. Gegen Ende des 18ten Jahrhunderts bewiess Scheele die Zersetzung bestimmter chemischer Verbindungen durch das Licht. Man weiss jetzt, dass Chlor sich mit Wasserstoff, Jod mit ölbildendem Gase nur unter dem Einfluss des Lichtes vereinigen, dass unter demselben Einfluss Chlor das Wasser bei gewöhnlicher Temperatur zersetzt und Salpetersäure in Sauerstoff und Untersalpetersäure zerfällt, dass Metalloxyde reducirt werden, oder in Metall und Hyperoxyde zerfallen.

Die meisten Silbersalze werden vom Lichte geschwärzt; die grösste Empfindlichkeit beweisen die Chlor- Jod- und Bromverbindungen des Silbers gegen das Licht. Auch sie schwärzen sich, ohne dass jedoch bis jetzt mit Bestimmtheit nachgewiesen wäre, worin die Umänderung besteht, welche jene Salze hierbei erfahren. Gewiss ist nur, dass sie nach stattgefundener Einwirkung des Lichtes in hohem Grade die Fähigkeit erlangen, Quecksilberdämpfe an ihrer Oberfläche zu verdichten; und gerade hierauf gründet sich die schöne Methode Daguerre's, getreue Abbildungen von beleuchteten Gegenständen allein durch die Wirkung des in der camera obscura entworfenen Lichtbildes auf jodirten Silberplatten darzustellen. Nachdem die Einwirkung des Lichtes die gehörige Zeit gedauert hat, wird die jodirte Silberplatte in eine Atmosphäre langsam sich entwickelnder Quecksilberdämpfe gebracht. Die durch das Licht veränderten Stellen verdichten die

Dämpfe vorzugsweise und das an den feinen Quecksilbertheilchen zerstreute Licht, giebt diesen Stellen ein weisses Ansehen, während die Schattenparthieen, nachdem man das unveränderte Jodsilber mit unterschwefligsaurem Natron weggenommen hat, durch die dunkle Metallfläche dargestellt werden. Ein dünner Ueberzug von Gold schützt das Bild vor der Zerstörung, welche ausserdem durch die leiseste Berührung herbeigeführt wird.

In demselben Jahre (1839), in welchem Daguerre seine schöne Erfindung bekannt machte, veröffentlichte Talbot ein Verfahren, Lichtbilder auf Papier darzustellen. Ein feines Papier, welches mit einem Ueberzug von Jodsilber vermischt mit Lösung von salpetersaurem Silberoxyd versehen ist, wird der Bestrahlung in der dunkeln Kammer ausgesetzt und dann in einem dunkeln Raume in eine Lösung von Gallussäure gebracht. Es entsteht durch Reduction des Silbers an den durch das Licht veränderten Stellen ein negatives Bild, in welchem die Lichter schwarz, die Schattenparthieen des Gegenstandes hell erscheinen. Dasselbe wird durch unterschwefligsaures Natron von allem lichtempfindlichen Jodsilber befreit, in reinem Wasser gewaschen und getrocknet. Zur Darstellung positiver Bilder wird das negative auf eine mit Chlorsilber überzogene Papierfläche zwischen Glasplatten aufgelegt und der Wirkung der Sonnenstrahlen so ausgesetzt, dass diese nur durch das negative Bild zum Chlorsilber gelangen können. Die Schwärzung tritt nur unter den hellen Stellen des negativen Bildes ein, das Bild kehrt sich um und wird somit den natürlichen Gegenständen entsprechend. Das positive Bild wird ebenfalls mit unterschwefligsaurem Natron fixirt.

Da man ein Papier von so gleichmässiger und hinreichend durchscheinender Masse, wie es zu den negativen Bildern erfordert wird, nur schwer findet, so hat man es durch Anwendung dünner Eiweissschichten und neuerdings durch einen dünnen Ueberzug von Collodion auf Spiegelglas zu ersetzen gewusst.

Nicht alle Farbenstrahlen äussern einen gleichen chemischen Effekt. Die blauen und violetten Strahlen sind ungleich wirksamer als die minder brechbaren, und ausserhalb des violetten Endes des Farbenbildes gibt es noch, wie zuerst Ritter und Wollaston fanden, unsichtbare Strahlen, welche sehr kräftig auf chemische Verbindungen einwirken. Unter einem blauen Glase dem Sonnenlichte ausgesetzt, schwärzt sich Chlorsilber in wenigen Minuten, unter einem rothen oder gelben Glase ist es nach tagelanger Bestrahlung noch nicht merklich verändert.

Draper glaubt sich überzeugt zu haben, dass die chemische Wirkung des Lichtes von einer Absorption unzertrennlich und derselben proportional sei. Bei prismatischer Zerlegung des Lichtes, welches durch eine Lösung gegangen war, auf welche es zersetzend wirkte, fand Draper immer den Strahl am stärksten

absorbirt, welcher die kräftigste chemische Wirkung äusserte. Ein Strahl, welcher durch Chlorwasser ging, bringt in einer zweiten Schichte der nämlichen Substanz keine Zersetzung mehr hervor.

Während bei Einwirkung der Wärmestrahlen sich die molekularen Schwingungen nach allen Seiten hin auf die benachbarten Moleküle übertragen, findet eine solche Uebertragung der chemischen Wirkung nicht statt und gerade hierdurch ist die ausnehmende Schärfe der photographischen Bilder bedingt.

XIII. Von der strahlenden Wärme.

593. Die Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung beruht auf Gesetzen, die mit denen der Fortpflanzung des Lichtes die allergrösste Aehnlichkeit haben. Da aber die ersteren viel weniger in die Sinne fallen als die letzteren, so war eine genaue Beobachtung und Darlegung derselben mit ungleich grösseren Schwierigkeiten verknüpft. Auch würden die Eigenschaften der Wärmestrahlen ohne die vorausgegangene Kenntniss entsprechender Eigenschaften der Lichtstrahlen, sich zum Theile wohl für immer der Beobachtung entzogen haben.

Jedermann weiss, dass glühende Körper aus der Entfernung, also durch Strahlung (No. 47), Wärmeeindrücke hervorbringen können. Weniger leicht fällt es auf, dass die Körper auch bei Hitzegraden, wobei sie nicht leuchten, ja dass sie bei jeder Temperatur das Vermögen besitzen, Wärme durch Strahlung auszusenden. Mit Hülfe empfindlicher Thermoscope gelingt es jedoch, diese bemerkenswerthe Eigenschaft der Körper auf's überzeugendste darzuthun.

Wir besitzen in dem Thermomultiplikator (No. 427) ein Differenzialthermometer von äusserster Empfindlichkeit, welches in hohem Grade geeignet ist, das Wärmestrahlungsvermögen (Emissions-Vermögen) auf die Probe zu stellen. Gesetzt die beiden Flächen der Thermosäule seien von ganz gleicher Oberflächenbeschaffenheit, am besten, mit einer dünnen Lage Lampenschwarz überkleidet; man richte die eine Fläche, z. B. die linke, gegen eine Wand von beständiger Temperatur und stelle in einiger Entfernung von der andern, also der rechten, die um eine höhere Empfindlichkeit zu erzielen, mit ihrem conischen Reflector versehen sein kann, irgend einen erwärmten Körper auf: sei es eine Kerzenflamme, eine heisse Metallplatte, ein Glas- oder Porzellangefäss mit heissem Wasser gefüllt, die flache Hand oder

was immer sonst für ein Körper, dessen Temperatur diejenige der gegenüberstehenden Wand übertrifft. Die Nadel des Galvanometers wird in allen Fällen einen Ausschlag zeigen und zwar stets im Sinne einer Temperaturerhöhung der dem wärmeren Körper zugekehrten Fläche der Thermosäule. Richtet man dagegen dieselbe Fläche gegen einen kälteren Körper, z. B. gegen eine Eisplatte oder gegen den klaren nördlichen Himmel, so wird die Nadel alsbald nach der andern Seite ausweichen, eine Abkühlung anzeigend.

Bei der ersten Versuchsreihe hatte die rechte Fläche der Thermosäule Wärme durch Strahlung von Aussen empfangen; bei der zweiten Reihe musste sie nach Aussen abgegeben haben.

Diese Versuche belehren uns, dass, so oft zwei Körper von ungleicher Temperatur einander gegenüberstehen, der kühlere von dem wärmeren, Wärme durch Strahlung empfängt.

Aber könnte nicht die Luft diesen Uebergang durch Leitung vermittelt haben? Dem widerspricht, dass die Luft zu den schlechtesten Leitern gehört, dass gleichwohl die Wirkung auf die Thermosäule eine augenblicklich eintretende ist und dass sie in der Hauptsache dieselbe bleibt, ob nun die Einwirkung von unten, von oben oder von der Seite statt gefunden hatte. Zudem findet man, dass die Körper selbst im Vacuum der Luftpumpe, wenn sie jedem andern Wärmeeinflusse ausser dem der Strahlung fast vollständig entzogen sind, mit Schnelligkeit jedem äusseren Temperaturwechsel folgen; sich erwärmen, wenn sie von höherer Temperatur umgeben sind, oder im umgekehrten Falle sich abkühlen.

594. Zwei Kerzenflammen einander gegenüber gestellt, senden sich Licht zu, auch wenn sie ganz gleichen Glanz besitzen. Ja eine Kerzenflamme, obschon im Sonnenschein nur wenig sichtbar, hört selbt dann nicht auf nach allen Richtungen und sogar gegen die Sonne hin Licht auszustreuen. Die Analogie leitete zu der Folgerung, dass das Vermögen der Körper Wärme auszustrahlen, in gleicher Weise von der Wärmebeschaffenheit der Umgebung ganz unabhängig ist; oder mit andern Worten ausgedrückt: die Körper strahlen Wärme zu jeder Zeit und bei den verschiedensten Temperaturgraden, welche sie selbst und ihre Umgebung besitzen. Diese Wärmemittheilung nimmt zu mit der steigenden Temperatur, und so kommt es, dass ein Körper in kühlerer Umgebung weniger zurückerhält als er abgibt, folglich sich selbst abkühlen muss, während er in der Nachbarschaft wärmerer Körper weniger gibt als ihm zufliesst. Haben zwei Körper gleiche Temperatur, so bleibt Gewinn und Verlust auf beiden Seiten gleich.

Diese Theorie eines ununterbrochen fortdauernden Austausches der Wärme durch Strahlung nennt man das Prinzip des beweglichen Gleichgewichtes der Wärme. Dasselbe ist von Prevost, einem Genfer Naturforscher aufgestellt worden.

Die feste und flüssige Erdoberfläche strahlt ununterbrochen Wärme gegen den Himmelsraum. Zur Tageszeit findet aber in Folge der Einwirkung der Sonne ein grösserer Zufluss statt. Dadurch steigt die Temperatur. Gegen Abend und zur Nachtzeit überwiegt der Verlust den Gewinn. Die Folge ist eine allmählig fortschreitende Abkühlung. Die Wolken strahlen wie jeder andere Körper. Bei bewölktem Himmel empfängt daher die Erdfläche einen grossen Theil der Wärmeabgabe wieder zurück und kühlt sich dann weit langsamer ab als bei klarer Luft. So erklärt es sich warum die stärksten Nachtfröste bei Mondschein oder sternenhellem Himmel eintreten.

595. Die Körper können bei ganz gleicher Temperatur ein sehr ungleiches Ausstrahlungs-Vermögen besitzen. Diess lehrt z. B. der folgende von Leslie angegebene Versuch. Vor der Thermosäule und in einer für die Empfindlichkeit der Nadel angemessenen Entfernung werde ein kubisches Gefäss mit dünnen Blechwänden aufgestellt, worin man Wasser mittelst der Spirituslampe auf einer gewissen Temperatur z. B. der Siedhitze erhält. Die vier Seitenwände des Gefässes sind mit den Substanzen überzogen deren Ausstrahlungsvermögen verglichen werden soll, und die Säule ist vor der direkten Einwirkung der Spiritusflamme so wie überhaupt jeder andern Wärmequelle durch Schirme geschützt. Indem man nun nach einander die verschiedenen Wände des Gefässes, unter gleichem Abstande, der geschwärzten Fläche der Säule zugekehrt, werden verschiedene Ablenkungen der Nadel beobachtet, deren ablenkende Kräfte das Verhältniss der ungleichen Wärmestrahlung bezeichnen. Auf diese Weise sind die folgenden Zahlen gefunden worden.

Kienruss . .	100	Firniss . . .	72
Bleiweiss . .	100	Eisen, polirt .	15
Hausenblase .	91	Gold, Kupfer .	12
Glas	90	Silber, polirt .	3
Graphit . . .	86		

Dieses Zahlenverhältniss scheint sich bei niedriger Temperatur der Wärmequelle nicht merklich zu ändern; d. h. wenn man die mit der Temperatur im Allgemeinen abnehmende Ausstrahlung des Kienrusses jedesmal mit 100 bezeichnet, so wird sich für Bleiweissanstrich ebenfalls 100 ergeben u. s. w. Bei stärkerer Erhitzung zeigen sich aber mehr und mehr auffallende Verschiedenheiten. Z. B. die Ausstrahlung der Bleiweissfläche nimmt mit der Temperaturerhöhung viel langsamer zu, als die Ausstrahlung der Kienrussfläche. Selbst beim Kienruss und bei polirten Metallflächen, die noch die grösste Regelmässigkeiten zeigen, scheint die Ausstrahlung nicht genau mit der Temperatur fortzuschreiten.

Die Metalle und unter diesen wieder das Silber sind die schlechtesten Ausstrahler. Zu den Körpern, welche ein starkes Ausstrahlungsvermögen besitzen, gehören auch noch: Wasser, Dammerde, Holz, Gräser, Blüthen und Blätter, Wolle, Haare und im allgemeinen die organischen Stoffe.

Aus dem beschriebenen Versuchsverfahren geht hervor, dass das Ausstrahlungsvermögen nicht sowohl von der inneren Beschaffenheit der Körper, als vielmehr von dem Zustande ihrer Oberfläche abhängt. Es ist demnach sehr begreiflich, dass Metalle sogleich mehr Wärme ausstrahlen, wenn ihre Oberfläche verunreinigt wird, z. B. durch Firnissen, Färben, oder einen Oxydanflug. Der Graphitanstrich, den man unseren eisernen Stubenöfen er-

theilt, ist, wie man sieht, ein nothwendiges Erforderniss, um sie ihrem Zwecke, möglichst viel Wärme auszustrahlen, anzupassen.

Selbst Veränderungen in der Dichtigkeit der Oberfläche verändern die Ausstrahlung. So strahlt eine gegossene oder durch galvanischen Niederschlag erhaltene Silberplatte besser, als eine gehämmerte oder gewalzte und dadurch an der Oberfläche dichter gewordene. Wurde aber die gehämmerte Oberfläche mit Smirgelpapier aufgerissen und dadurch die innere weichere Masse ganz oder doch theilweise blosgelegt, so stieg das Ausstrahlungsvermögen fast auf das doppelte. Das Aufritzen einer glatten Oberfläche hat an und für sich keinen Einfluss auf die Quantität der Ausstrahlung und ändert daher auch nicht das Vermögen solcher Körper, deren Oberfläche durch die Politur keine Verdichtung erfährt, wie Holz, Elfenbein, Marmor. Jeder Körper der letzteren Art und dahin gehören fast alle nicht metallischen Körper, mag nun seine Oberfläche glatt und glänzend, oder uneben, rauh und aufgerissen sein, ändert sein Ausstrahlungsvermögen nur mit der Temperatur.

Die Quantität der Ausstrahlung für eine gegebene Temperatur beruht jedenfalls bei manchen Körpern nicht ausschliesslich auf der Wirkung der äussersten Oberfläche, sondern auch die tieferen Schichten tragen in abnehmendem Grade dazu bei. So findet man, dass die Ausstrahlung einer Metallfläche durch den dünnsten Firnissanstrich zwar sogleich auffallend vermehrt wird; doch kann durch mehrmalige Wiederholung des Anstrichs die Schnelligkeit der Wärmeabgabe noch sehr merklich gesteigert werden.

Die Temperatur der kräftigsten Ausstrahler muss begreiflich während der nächtlichen Abkühlung am schnellsten und tiefsten sinken, sogar tiefer, als die sie umgebende Luft, weil letztere zu den schlechtesten Strahlern gehört. Hieraus erklärt es sich, warum die frischen Triebe und Blüthen in hellen Frühjahrsnächten so leicht und selbst in Fällen erfrieren, in welchen die Temperatur der Luft nicht unter 0° gesunken war. Auch wird man jetzt verstehen, warum mässige Luftbewegung, wobei die erkaltende Pflanze einen Theil des Wärmeverlustes durch die vervielfältigte Berührung mit der noch wärmeren Luft wieder erhalten, warum ferner eine etwas höhere Lage, ein bedeckter Himmel, und überhaupt jede noch so lockere Bedeckung, z. B. eine Lage Blätter oder Stroh, den Pflanzen Schutz gegen das Erfrieren gewährt.

Es ist an sich klar, dass die Abkühlung der Körper auf die sie unmittelbar umgebende Luftschicht zurückwirken, und diese folglich ihrem Thaupuncte näher bringen, d. h. sie relativ feuchter machen muss. Das Absorptionsvermögen der Körper für die Luftfeuchtigkeit wächst in dem Grade, als die relative Trockenheit der Luft abnimmt.

Die Pflanzen werden also schon durch den Process der nächtlichen Abkühlung, auch wenn die Witterung im Allgemeinen trocken ist, befähigt, einen Theil des für ihr Gedeihen erforderlichen Wassers aus der Luft aufzunehmen.

Sinkt die Temperatur eines Körpers, durch Ausstrahlung unter den Thaupunct der ihn umspielenden Luft (No. 265), so tritt er ganz in das Verhalten eines beliebigen andern kalten Körpers, den man in wärmere und feuchte Luft bringt; er beschlägt sich mit Thautropfen, oder wenn seine Temperatur bis unter den Gefrierpunct gegangen war, mit Reif. Die Pflanzen wegen ihres starken Ausstrahlungs-Vermögens sind vorzugsweise empfänglich sich mit Thau oder Reif zu beschlagen. Die bekannte Erscheinung, dass der Thau in heiteren Nächten am reichlichsten fällt, bei dicht bedecktem Himmel aber ausbleibt, dass er sich auf den oberen, frei gegen den Himmel gerichteten Seiten der Blätter, am stärksten absetzt, dass die unter dicht belaubten Bäumen wachsenden niederen Pflanzen grösstentheils davor geschützt sind, bedarf nach dem Vorausgegangenen keiner nähern Erläuterung.

Newton hatte den Satz aufgestellt, dass die Schnelligkeit der Abkühlung eines erwärmten Körpers, dem Unterschiede seiner eignen Temperatur und derjenigen der Umgebung proportional sei. Dass z. B. bei einer Temperaturabstufung von 40° ein Körper in gleichen Zeittheilen noch einmal so viel verliere, als wenn er nur um 20° wärmer sei, als seine Umgebung.

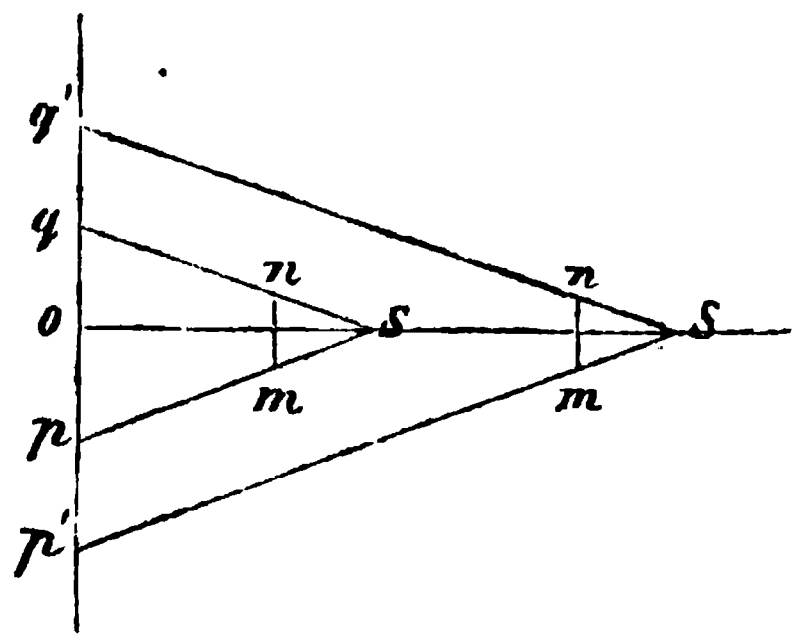
Diese Regel, für mässige Temperaturunterschiede allerdings richtig, lässt sich jedoch nicht auf die Abkühlungsgeschwindigkeit stark erhitzter Körper anwenden; deren Wärmeverlust nach den genauesten Beobachtungen von Dulong und Petit (Ann. ch. phy. VII. 225) selbst im leeren Raume, und frei von jedem andern Einflusse, ausser dem der Strahlung, in steigender Progression zunimmt, je stärker sie vorher erwärmt waren.

596. Die Wirkung der Wärmestrahlen, ihre wärmende Kraft, vermindert sich bei zunehmendem Abstande der Quelle im umgekehrten Verhältnisse zum Quadrate dieses Abstandes. Zur Erklärung des Grundes hat man nur Wort für Wort zu wiederholen, was bezüglich des ganz gleichlautenden Gesetzes der Abnahme der Lichtwirkungen gesagt worden ist.

Einen experimentellen Beweis hat Melloni (la Thermochrose p. 129) durch den folgenden Versuch gegeben. Die eine senkrechte Seitenwand eines grossen Wasserbehälters (von 4—5 Cent. Seite) in welchem er Wasser auf einer beständigen Temperatur von etwa 40° erhielt, wurde geschwärzt, und derselben aus mässigem Abstande die eine Fläche der Thermosäule zugekehrt, deren cylindrischen Ansatz man auf der inneren Seite ebenfalls mit Lampenschwarz überzogen, oder auch mit Papier bekleidet hatte, um die Wirkungen der Reflexion möglichst abzuhalten. Es entstand ein Ausschlag der Galvanometernadel, dessen Grösse sich nicht änderte, wenn man die Säule der Wand näherte oder auch sie davon entfernte.

Es sei S (Fig. 322) eine Löthstelle der Thermosäule, mn die Oeffnung des Cylinders, So die Entfernung der erwärmenden Wand, so ist qp der

Fig. 322.



Durchmesser des Stückes derselben, dessen Strahlen bis zu dem Puncte S gelangen können. Rückt man diesen Punct nach S', z. B. in den doppelten Abstand, so ist mit Beziehung auf das ausgesprochene Gesetz, die erwärmende Kraft jeder Flächeneinheit der warmen Wand auf $\frac{1}{4}$ vermin-

dert; der Durchmesser $q'p'$ der wirkenden Fläche ist aber jetzt noch einmal so gross, also die Fläche selbst 4mal so gross. Die Wirkung musste folglich dieselbe sein wie vorher. Was nun für eine Löthstelle richtig ist, gilt für alle an der vordern Fläche der Thermosäule.

Bei dieser Anordnung des Versuchs blieb sich der Wärmezufluss zu der Säule immer gleich. Es lässt sich nun die Frage aufwerfen, ob bei verändertem Wärmezuflusse, die die Magnetnadel ablenkenden Kräfte der Kraft des Wärmestroms proportional bleiben. Diese Frage hat Melloni auf folgende Weise beantwortet: Eine in ihren Wirkungen sich sehr gleich bleibende Wärmequelle von geringer Ausdehnung, (z. B. eine durch einen constanten electrischen Strom im Glühen erhaltene Platinspirale) wurde vor dem Thermomultiplicator in verschiedenen genau gemessenen Abständen aufgestellt, und jedesmal die Ablenkung der Nadel bemerkt. Waren nun die Wärmeaufnahmen der Säule den auffallenden Strahlenmengen proportional, so mussten die ablenkenden Kräfte sich verhalten, verkehrt wie die Quadrate der zugehörigen Abstände der Platinspirale, von der zugewendeten Grundfläche der Säule. Und so fand es sich in der That.

597. Nicht alle Wärme, welche strahlend die Oberfläche eines Körpers trifft, wird verschluckt und in fühlbare (auf das Thermometer wirkende) Wärme verwandelt. Ein mehr oder weniger grosser Theil wird von jedem Körper, je nach der Natur seiner Oberfläche zurückgeworfen. Einem dritten Theile gestatten manche Körper den Durchgang. Man nennt solche Körper: diathermane (dem Worte diaphan, durchsichtig, nachgebildet) im Gegensatz zu den athermanen, welche keine Wärmestrahlen durchlassen.

598. Die Zurückwerfung oder Reflexion der Wärmestrahlen richtet sich auf das Genaueste nach den Gesetzen, nach welchen die Zurückwerfung des Lichtes stattfindet. Die Richtigkeit dieses Satzes lässt sich mit Hülfe des Hohlspiegels einer sehr scharfen Probe unterwerfen. Man richte einen sphärischen Metallspiegel (von Silber, von Spiegelmetall oder auch von Messing) gegen die Sonne. Sogleich wird man bemerken, dass an der Stelle wo das Sonnenbildchen entsteht, im Brennpuncte, eine sehr hohe Temperatur herrscht, Es ist also gewiss, dass die Wärmestrahlen der Sonne nach demselben Gesetze wie die Lichtstrahlen reflectirt und in dem Brennpuncte verdichtet worden sind.

Die Hitze, welche bei hohem Stande der Sonne und an sehr hellen Tagen im Brennpuncte eines guten und grossen Hohlspiegels (Brennspiegels) erzeugt werden kann, ist die höchste, welche sich überhaupt hervorbringen lässt. — Bekanntlich haben die Florentiner Akademiker mit Hilfe eines grossen Brennspiegels zuerst (1694) die von Newton vorausgesagte Verbrennlichkeit des Diamants bewiesen, indem sie fanden, dass derselbe im Fokus des Spiegels allmählig verschwand.

Die Strahlen irdischer Wärmequellen sind in ganz gleicher Weise wie die Sonnenstrahlen reflectirbar. Um diess zu zeigen kann man sich (wie zuerst der Genfer Physiker Pictet zeigte) der sogenannten conjugirten Brennspiegel bedienen, d. h. zweier ganz gleicher Brennspiegel (von etwa 15 — 18 Zoll Durchmesser bei 11 — 12 Zoll Brennweite), die so aufgestellt werden, dass

ihre Hauptaxen zusammenfallen. Bringt man dann in den Brennpunct des einen die Flamme einer Kerze, so werden die von derselben ausgehenden Strahlen von der Spiegelfläche parallel mit der Axe zurückgeworfen. Dadurch gelangen sie zu der andern Spiegelfläche und müssen sich, auch von dieser reflectirt in ihrem Brennpuncte vereinigen. Aus der Temperaturerhöhung an dieser Stelle erkennt man, dass zugleich mit der leuchtenden auch die wärmenden Strahlen concentrirt worden sind.

Befindet sich in dem einen Brennpuncte eine hellglühende Kohle, so entsteht eine so starke Hitze in dem andern Brennpuncte, dass leicht entzündliche Stoffe, wie Schiesspulver, Zündschwamm, Zündhölzchen zum Aufflammen kommen. Aber auch die von nicht leuchtenden Körpern ausstrahlende Wärme lässt sich auf dieselbe Weise verdichten. Setzt man z. B. ein Gefäss mit heissem Wasser in den einen Brennpunct, die geschwärzte Kugel eines Luftthermoscops (No. 49) in den andern, so zeigt sich die Einwirkung in demselben Augenblicke, da man einen Schirm, der den einen oder andern Spiegel bedeckte, wegzieht. Eis an die Stelle des heissen Wassers gebracht, macht seinen Einfluss sogleich dadurch geltend, dass in dem andern Brennpuncte die Temperatur merklich heruntergeht.

599. Aus dem Verhalten des Brennspiegels gegen die Wärmestrahlen ergibt sich als nothwendige Folge, dass die Wärme auch von ebnen Metallflächen, und zwar mit gleicher Regelmässigkeit wie das Licht reflectirt wird, und dass in Folge dieser Reflexion gleichsam ein Bild der Wärmequelle entsteht, in ähnlicher Art und sogar an derselben Stelle, wo das Lichtbild erscheint. Ausser dieser regelmässig reflectirten Wärme wird von jedem Körper, je nach dem Grade seiner Glätte ein mehr oder weniger grosser Theil der einfallenden Strahlen durch die Zurückwerfung zerstreut.

Polirte Metallplatten reflectiren einen grossen Theil aber doch nicht die ganze Menge der einfallenden Wärmestrahlen. Z. B. vom Messing, woraus man gewöhnlich die Brennspiegel verfertigt, werden nicht mehr als 65 Prozent der einfallenden Wärme regelmässig zurückgeworfen. Silber und Gold reffectiren besser, Kupfer weniger gut. Nichtmetallische Körper wie Marmor, Glas, Bergkrystall besitzen selbst bei der besten Politur ein geringes Vermögen. die Wärme regelmässig zu reflectiren. Eine mit Lampenschwarz bedeckte, sonst ebne Fläche reflectirt fast gar keine Wärme. Im Allgemeinen vermehrt sich die Menge der reflectirten Wärme mit der Grösse des Einfallswinkels.

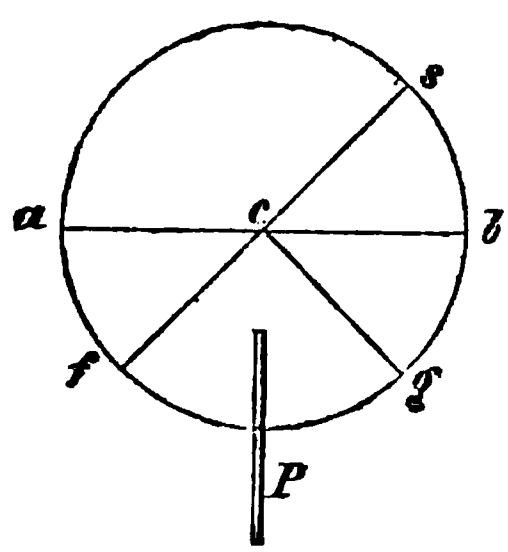
Zur näheren Prüfung dieser verschiedenen Erfahrungs-Ergebnisse kann man sich der in Fig. 8 Pl. VI. dargestellten Geräthschaft bedienen*). Eine

*) Ann. d. Pharm. XXXII. 163.

kreisförmige in Grade getheilte Scheibe ist mit Schraubenfüssen versehen, um sich horizontal einstellen zu lassen. Aus ihrem Mittelpuncte erhebt sich senkrecht ein Träger, auf welchem ein Tischchen ruht, an dessen vorderer Kante, genau über der Mitte der Scheibe, eine senkrecht gestellte, durchbrochene Messingplatte festsitzt, welche mit einer dicken Lage von Lampenschwarz bedeckt ist. Unmittelbar gegen diese Platte lehnt sich die spiegelnde Ebene, so dass die Spiegelung auf das hinter der Oeffnung befindliche Flächenstück beschränkt ist. Zwei bewegliche in Linien getheilte Stäbe sind um den Mittelpunct der Kreisscheibe drehbar; sie tragen aufrechtstehende, in der Richtung des Radius verrückbare Halter. Auf einem derselben steht die Wärmequelle, auf dem andern die Säule, beide genau in gleicher Höhe mit der Oeffnung in der durchbrochenen Platte.

Es sei nun *ab* (Fig. 323) die Richtung des Spiegels; die Halter *cf* und *cg* seien so gestellt, dass sie mit der Spiegelebne gleiche Neigung haben. Ueber dem Puncte *f* befinde sich die Säule, über *g* die Wärmequelle und zwischen beiden ein Schirm *P*, der den direkten Uebergang der Wärme hindert, so können nur solche Wärmestrahlen bis zur Säule gelangen und eine Wirkung auf die Nadel hervorbringen, welche durch die Reflexion bei *c* eine solche Richtung bekommmen haben, als kämen sie vom Puncte *s* her. Man stelle sodann den Halter *cg* sammt der Wärmequelle darüber in die Lage *cs* und entferne den Spiegel, so wird die Säule genau aus derselben Entfernung von den direkten Strahlen getroffen, aus welcher sie vorher den Eindruck der reflectirten Wärme erhielt. Die Ablenkung der Nadel wird jetzt grösser sein als vorher, und das Verhältniss beider ablenkenden Kräfte entspricht dem der absoluten Menge ausgesendeter Strahlen zur Quantität der Reflexion.

Fig. 323.



Um das Verhältniss der Reflexion bei verschiedenen Einfallswinkeln untersuchen zu können, muss die durchbrochene Scheibe von der Spiegelebene entfernt werden.

Einige Beobachter glauben gefunden zu haben, dass die Wärmereflexion der Metalle bei zunehmendem Einfallswinkel sich vermindere, also gerade umgekehrt dem Verhalten nichtmetallischer Stoffe und dem Gesetze der Lichtreflexion. Es ist indessen wahrscheinlich, dass dieses Resultat eine Folge ist der auch in sehr gut polirten Metallplatten häufig noch wahrnehmbaren Furchen, durch deren Einfluss beim schiefen Einfalle die Strahlen etwas mehr zerstreut werden. Auf dem reinen Quecksilberspiegel bemerkt man eine mit der Grösse des Einfallswinkels ganz unzweideutige, wenn auch, gleich wie bei andern Metallen, sehr langsame Zunahme der Reflexion.

Bei vielen Körpern ändert sich, gleichen Einfallswinkel vorausgesetzt, die Stärke der Reflexion mit der Natur der Wärmequelle. Z. B. eine polirte Messingplatte, mit einer Lage Firniss überzogen, dessgleichen Marmor, rothes, undurchsichtiges Glas, Schellack, reflectiren die Wärme der Oelflamme besser, als die von einem auf 400° erhitzten Kupferblech ausgehenden Strahlen. Das Wasser dagegen, Achat, Glas werfen die von mässig erwärmten Körpern ausgesendeten Strahlen besser zurück, als die der Oelflamme. Die Metalle scheinen die von Wärmequellen aller Art abstammenden Strahlen so ziemlich gleich gut zu reflectiren, und Kienruss, womit man die Löthstellen der Thermosäule schwärzt, hält fast alle Wärmestrahlen, wo sie auch herkommen mögen, zurück.

600. Eine grosse Anzahl Körper lassen Wärmestrahlen durch.

Diese Eigenschaft hält jedoch bei den meisten nicht gleichen Schritt mit ihrer Durchsichtigkeit. Man verschaffe sich z. B. klare, farblose und gleich dicke Scheiben von Steinsalz, Flussspath, Spiegelglas, Gypsspath, Citronensäure, Alaun und Eis, und bringe sie nach einander zwischen die Thermosäule und eine nicht russende Oelflamme ohne Glasschornstein*); man wird finden, dass diese verschiedenen Körper, die sich doch gegen das Licht ganz gleich verhalten, die Wärme in sehr ungleichen Verhältnissen durchlassen.

Nach Melloni's Beobachtungen gingen von je 100 einfallenden Wärmestrahlen durch

Steinsalz . . .	92
Flussspath . .	78
Spiegelglas . .	39
Gypsspath . .	14
Citronensäure .	11
Alaun . . .	9
Eis	6

Während also das Steinsalz Licht und Wärme mit gleicher Leichtigkeit durchlässt, zeigt sich das eben so durchsichtige Eis fast atherman. Dagegen findet man, dass schwarzes Glas und schwarzer Glimmer bei vollkommener Undurchsichtigkeit, den Wärmestrahlen in ziemlicher Menge den Durchgang gestatten.

601. Beim Uebergang aus einem Mittel in das andere werden die Wärmestrahlen gleich den Lichtstrahlen gebrochen. Man stelle ein Prisma von Glas, oder besser von Steinsalz von ziemlich grossem Winkel vor die Oeffnung der durchbrochnen Platte (Fig. 323), so dass es dieselbe gegen die von *s* einfallenden Wärmestrahlen schliesst; man wird keine Einwirkung auf die bei *f* in der geraden Linie *scf* befindliche Säule wahrnehmen. Bewegt man aber den Stab *cf* nach der, der brechenden Prismakante entgegengesetzten Seite, so werden bei einer gewissen Grösse des Winkels die aus ihrer früheren Richtung abgelenkten Strahlen wieder zu den Lichtstellen gelangen. Es ist leicht zu zeigen, dass die Ablenkung mit der Grösse des Einfallswinkels ebenfalls zunimmt, so wie dass bei einer gewissen Richtung der einfallenden Strahlen, dieselben von der Hinterfläche des Prisma's total zurückgeworfen werden.

602. Die Wärmestrahlen besitzen gleich den Lichtstrahlen eine ungleiche Brechbarkeit und breiten sich daher, nachdem sie

---

*) Wegen der lange anhaltenden Gleichförmigkeit ihrer Flamme sehr geeignet zu diesen Versuchen ist die Lokatelli'sche Lampe, welche sich von andern Oellampen ohne Glasschornstein durch die prismatische Gestalt des Dochtes unterscheidet.

durch das Prisma gegangen sind, über die ganze Fläche des Farbenbildes und selbst noch in dem dunklen Raume darüber, aus. Am auffallendsten bemerkt man diess bei den Sonnenstrahlen, wenn man sie auf einen schmalen und hohen Spalt im Laden eines verdunkelten Zimmers leitet und ein Steinsalzprisma davorsetzt. Wird dann die Fläche einer schmalen und verhältnissmässig hohen Thermosäule nach und nach gegen die verschiedenen Farbenstreifen gerichtet, so zeigt sich überall eine Wärmewirkung, die jedoch vom Violett nach dem Roth hin zunimmt und über dem Roth hinaus im dunklen Raume ihr Maximum erreicht. Melloni fand dieses Maximum vom letzten Roth des Lichtspectrums wenigstens eben so weit entfernt, als in umgekehrter Richtung das Grünblau vom Roth. An dieser Stelle fallen also die Wärmestrahlen am dichtesten ein; oder unter den verschiedenen Wärmestrahlen der Sonne sind diejenigen von dieser mittleren Brechbarkeit in verhältnissmässig reichlichster Menge vorhanden.

Andere Wärmequellen liefern ein viel weniger ausgedehntes Wärmespectrum und im Allgemeinen findet man, dass die stärker brechbaren Strahlen mehr und mehr fehlen, je niedriger die Temperatur der Quelle ist. Wärmestrahlen die von einem Körper von der Temperatur des siedenden Wassers ausfuhren, sind selbst weniger brechbar als die äussersten rothen Lichtstrahlen.

Auch die Beschaffenheit des brechenden Mittels ist von Einfluss. So findet man, dass das Maximum der wärmenden Kraft des Sonnenspectrums bei Anwendung eines Prismas von Flintglas sich zwar immer noch im dunklen Raume befindet, aber jetzt ganz nahe beim letzten Roth. Bei Prismen von Crownglas im Roth selbst, bei hohlen Prismen gefüllt mit Schwefelsäure im Orange und wenn sie mit Wasser gefüllt sind, im Gelb.

Da diese verschiedenen Mittel erfahrungsmässig auch weniger Wärme durchlassen als das Steinsalz, so sieht man nun deutlich, dass ihre Wirkung, bei den einen mehr, bei den andern weniger, darin besteht, dass sie die Wärmestrahlen von geringer Brechbarkeit verschlucken. Damit stimmt auch das übrige Verhalten dieser Körper überein.

Eine klare Steinsalzplatte von 2,6^{mm} Dicke liess von 100 einfallenden Strahlen jedesmal 92 durchgehen, gleichgültig von welcher Quelle sie abstammten. Mit einer gleich dicken Platte von Spiegelglas wurden folgende Resultate erhalten:

Wärmequelle:	Durchgelassen von 100 Strahlen:
Argantische Lampe mit Glasschirm . .	62
Lokatelli'sche Lampe	39
Glühende Platinspirale	24
Geschwärztes Kupferblech auf 400° erhitzt	6
— — auf 100° erhitzt	0

Die Diathermanität des Glases erstreckt sich also hauptsächlich auf Strahlen von grosser Brechbarkeit. Gegen Strahlen von geringer Brechbarkeit, wie sie aus dem heissen Wasser ausfahren ist es atherman. Es verhält sich gegen dieselben, wie dunkelblaues Glas gegen gelbes und rothes Licht. Gyps, Citronensäure, Alaun, sind selbst gegen die, von dem bis zu 400° erhitzten Kupferblech, ausgehenden Strahlen atherman. Eis und Wasser bei der grössten Klarheit lassen nur die allerbrechbarsten durch.

Die diathermanen Mittel verhalten sich also gegen die Wärmestrahlen, ähnlich wie gefärbte Gläser gegen das Licht. Während sie Strahlen von gewisser Brechbarkeit durchlassen, sind sie atherman für Strahlen von anderer Brechbarkeit. Jeder besitzt gleichsam seine eigenthümliche Wärmefarbe. (Diathermansie).

Unter den bis jetzt geprüften Körpern haben sich nur Luft und Steinsalz als vollkommen diatherman, gleichsam farblos gegen die Wärmestrahlen gezeigt. Auch findet man, dass Strahlen aller Art durch die dicksten Steinsalzplatten, Farblosigkeit und Klarheit vorausgesetzt, fast mit derselben Leichtigkeit fahren, wie durch ganz dünne. Stehen mehrere Steinsalzplatten hinter einander, so veranlasst jede einen kleinen Verlust durch Reflexion und zwar jede denselben verhältnissmässigen Theil der Zuflussmenge, nämlich 7—8 Procent.

Bei andern, in Folge ihrer Wärmefarbe nur unvollkommen diathermanen Mitteln, ist die Dicke der Platte nicht ohne Einfluss auf die Menge der durchgehenden Strahlen. Doch bemerkt man, dass der Verlust durch Absorption hauptsächlich in den vordersten Schichten stattfindet, und dass er sich bei zunehmender Dicke der Platte mehr und mehr einer gewissen Gränze nähert. Man stelle z. B. eine ziemlich dicke, aber klare Glasplatte, oder mehrere dünnere hintereinander in genügendem Abstande von der thermoelectrischen Säule auf, und nähere die Lampe bis man einen Ausschlag von 30° erhalten hat. Man stelle dann noch eine Glasplatte vor die bereits vorhandenen. Die Nadel wird höchstens um einige Grade zurückgehen. Denn alle Strahlen, deren Wärmefarbe mit der des Glases nicht übereinstimmte, waren bereits verschluckt worden; durch die neu hinzukommende Platte konnte daher nur noch ein kleiner Verlust durch Zurückwerfung entstehen. Ganz gleich verhalten sich die durch Glas gefahrenen Strahlen gegen andere diathermane Mittel, wenn diese wie Bergkrystall und Kalkspath dieselbe Wärmefarbe wie das Glas, oder wie Flussspath und Steinsalz einen noch vollkommneren Grad der Diathermanität besitzen.

Setzt man dagegen eine klare Alaunplatte zwischen die Säule und die aus dem Glase tretenden Wärmestrahlen, so geht die Nadel, welche nach Annahme auf 30° stand, bis auf 7 oder 8° zurück; als Beweis, dass die Wärmefärbung des Alauns von der des Glases abweicht. Entfernt man hierauf alle Glasplatten, welche den direkten Zutritt der Wärmestrahlen zum Alaun verhinderten, so wird dennoch die Ablenkung der Nadel kaum vermehrt werden.

Es geht hieraus hervor, dass der Alaun keine Strahlen durchlässt, welche nicht auch durch Glas gehen können, während er für viele atherman ist, die das Glas ungeschwächt zu durchfahren vermögen.

Ein durch Kupferoxyd gefärbtes grünes Glas vor die Alaunplatte gestellt, hemmt allen Wärmedurchgang, obschon das grüne Glas für sich diatherman ist. Beide Körper stehen also zu den Wärmestrahlen in ähnlicher Beziehung wie rothes und grünes Glas gegen das Licht. Auch Wasser zwischen parallelen Platten von grünem Glase eingeschlossen unterbricht

nach Melloni den Durchgang der strahlenden Wärme so vollständig, dass Sonnenstrahlen, welche durch ein solches System gegangen waren, auf das Thermometer nicht mehr einwirken, selbst wenn sie mittelst einer Linse bis zum Glanze des direkten Sonnenlichtes concentrirt werden.

Die seit Jahrhunderten bekannte Erfahrung, dass sich die wärmende Wirkung der Sonnenstrahlen durch optische Linsen (Brenngläser) concentriren lässt, liefert für sich schon den Beweis, dass die Wärmestrahlen gleich den Lichtstrahlen der Sonne brechbar sind. Will man jedoch auf diesem Wege eine möglichst grosse Wärmeverdichtung erzielen, so muss man anstatt der Glaslinsen, Linsen von Steinsalz wählen, mit deren Hülfe Wärmestrahlen jeder Sorte, beinahe ohne Verlust, je nach der gegenseitigen Stellung der Wärmequelle und der Linse, parallel oder convergirend gemacht werden können.

603. Die Analogie der Wärmestrahlen mit den Lichtstrahlen erstreckt sich auch auf diejenigen eigenthümlichen Veränderungen des Lichtes, von welchen nur die Vibrationstheorie in befriedigender Weise Rechenschaft zu geben vermag. Die Wärmestrahlen werden unter denselben Umständen wie die Lichtstrahlen gebeugt (Knoblauch) und bringen Interferenzfransen hervor (Fizeau und Foucault), welche mit denen des Lichtes zusammenfallen. Sie erleiden, wie schon aus früheren Untersuchungen von Forbes und Melloni bekannt und durch neuere Arbeiten von Knoblauch, Dessains und de la Provostaye aufs Umständlichste bestätigt ist, unter gleichen Verhältnissen wie die Lichtstrahlen die doppelte Brechung, und lassen sich sowohl durch Reflexion und einfache Refraction, als auch durch die doppelte Brechung polarisiren. Diese Erscheinungen treten hervor, wenn man an die Stellen, an welchen das Auge die ähnlichen Lichtphenomene wahrnimmt, ein Thermometer von genügender Empfindlichkeit setzt. Selbst die Drehung der Polarisationsebene der Wärmestrahlen hat man sowohl durch Bergkrystall, Zuckerlösung, Terpentinöl, wie auch durch electromagnetische Einwirkung herbeigeführt. Turmalinplatten und Nikolsche Prismen als Mittel die Strahlen zu polarisiren oder sie auf ihre Polarisation zu prüfen, lassen sich bei der Wärme ganz so wie bei dem Lichte benutzen. Insbesondere bewirken nach Knoblauch die Nikolschen Prismen eine sehr vollständige Polarisation.

Bei dieser nach allen Richtungen verfolgten und überall bestätigt gefundenen Aehnlichkeit zwischen der Eigenschaft der Licht- und Wärmestrahlen, lässt sich nicht bezweifeln, dass beide von gleichem Ursprunge sind. Und da es gegenwärtig ausgemacht ist, dass die Fortpflanzung des Lichtes auf Aetherschwingungen beruht, so kann man, zumal bei Beachtung der vollkommnen Uebereinstimmung der wärmenden Strahlen der Sonne mit den aus andern Quellen abstammenden, für die Wärmestrahlen nicht wohl ein anderes Mittel der Fortpflanzung voraussetzen.

Das Verhalten des Wärmespectrums, der Umstand, dass bei weitem der grösste und intensivste Theil desselben noch dies-

seits des äussersten Roth liegt, folglich aus Strahlen von sehr geringer Brechbarkeit besteht, scheint darauf hinzuweisen, dass diejenigen Aetherwellen, welche beim Eindringen in die Masse der Körper sich vorzugsweise in Wärme umsetzen, sich von den Lichtwellen nur durch grössere Länge unterscheiden, also durch geringere Schwingungsgeschwindigkeit der Aethertheilchen gebildet sind.

Dass sie in das Auge eindringend nicht das Gefühl von Licht hervorbringen können, würde daraus erklärbar sein, weil die Flüssigkeiten des Auges fast ausschliesslich aus Wasser bestehen, also die Strahlen von geringer Brechbarkeit verschlucken, ehe sie die Netzhaut erreichen können.

604. Wärmestrahlen, die nicht reflectirt oder durchgelassen werden, werden verschluckt. Nur diese tragen zur Erwärmung bei.

Bei athermanen Körpern stehen Reflexion und Absorption im umgekehrten Verhältnisse. Alles was das Reflexionsvermögen mindert, muss daher das Absorptionsvermögen vermehren. So wird das Absorptionsvermögen einer Metallplatte durch Firnissüberzug beträchtlich vergrössert; mit Lampenschwarz überzogen wird sie fast alle einfallenden Strahlen einsaugen und sich am stärksten erwärmen, weil sie in diesem Falle fasst nichts reflectirt. Den grossen Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit auf das Einsaugungsvermögen haben schon Leslie und Rumford nachgewiesen. Melloni hat daraus ein einfaches Mittel abgeleitet, die Vermögen verschiedener Körper zu vergleichen.

Die Thermosäule wird mit ihrem conischen Reflector versehen. Man nimmt hierauf eine Anzahl dünner Messingscheiben, alle aus derselben Tafel geschnitten, deren Durchmesser den der äusseren Oeffnung des Reflectors wenig übertrifft; schwärzt sie auf der einen Seite und gibt ihnen auf der andern einen dünnen, gleichförmigen Anstrich von der Materie, welche geprüft werden soll.

Diese Scheiben werden nach einander dicht vor dem Reflector an einem Halter (von Elfenbein, um die Ableitung der Wärme zu verhüten) so befestigt, dass sie ihre geschwärzte Seite der Säule, die mit der zu prüfenden Materie bedeckte, der Wärmequelle zukehren. Je nach der Fähigkeit der verschiedenen Oberflächen, die von derselben Quelle ausfahrenden Strahlen einzusaugen, werden nun die Scheiben mehr oder weniger erwärmt und veranlassen eine verhältnissmässige Ablenkung der Nadel.

So ist die folgende Tafel entstanden.

Name der Körper	Natur der Wärmestrahlen			
	Glühendes Platin	Kupfer von 400° geschwärzt	Kupfer von 100° geschwärzt	Durch das Glas der Argantischen Lampe gefahren
Kienruss . . .	100	100	100	100
Bleiweiss . .	56	89	100	21
Hausenblase .	54	64	91	45
Tusch	95	87	85	100
Gummilack . .	47	70	72	30
Blanke Metallfläche . . .	13,5	13	13	17

Die Absorption des Kienrusses ist als Mass der Vergleichung gewählt, weil er Wärme aus allen Quellen gleich wenig reflectirt, man daher schliessen durfte, dass sein Einsaugungsvermögen sich auf Wärmestrahlen jeder Art mit gleicher Vollständigkeit erstreckt. Man sieht nun aus dieser Tafel, dass eine reine Metallfläche sich gegen verschiedene Strahlengattungen ungefähr gleich verhält. D. h. die Metalle sind farblos gegen die Wärme wie es die meisten gegen das Licht sind.

Andere Stoffe absorbiren je nach ihrer eigenthümlichen Wärmefarbe bald die brechbareren, bald die weniger brechbaren am vollständigsten. Bleiweiss z B. absorbirt die von der Siedhitze des Wassers ausgehenden Strahlen gerade so gut wie Kienruss, aber die zum Glase ausfahrenden nur zum vierten Theile. Tusch verhält sich im umgekehrten Sinne und absorbirt gerade die letzten am besten.

Melloni hat die merkwürdige Beobachtung gemacht, dass auch der Schnee eine bestimmte, der des Bleiweisses ähnliche Wärmefarbe besitzt und dass er demgemäss die Strahlen einer Wärmequelle, deren Temperatur die seinige nicht viel übertrifft, weit vollständiger einsaugt, als die Sonnenstrahlen. Zu den Körpern, welche das beste Absorptionsvermögen für die Sonnenstrahlen besitzen, gehört das Wasser, der mit organischen Stoffen reichlich vermengte Boden, grünende Pflanzen. Die früher verbreitete Ansicht, dass schwarze Körper die Wärme vorzugsweise einsaugen, weisse dagegen vorzugsweise zurückwerfen ist nicht allgemein richtig. Ueberhaupt sind diese Vermögen nur von der inneren Beschaffenheit der Stoffe, nicht aber von ihrer Farbe, d. h. von ihrem Verhalten gegen die Lichtstrahlen abhängig.

Rauhigkeit der Oberfläche bei sonst reiner Beschaffenheit ist ohne Einfluss auf das Absorptionsvermögen. Natürlich vermindert sich aber in dem Grade als die Politur geringer ist, die Menge der regelmässig reflectirten Wärme. Eine rauhe Metallfläche reflectirt fast nur zerstreute Wärme und verhält sich daher gegen die Wärmestrahlen wie eine unpolirte weisse Fläche gegen das Licht. Die von andern Körperoberflächen zerstreut reflectirte Wärme ändert gewöhnlich ihre Farbe, je nach der vorherrschenden Absorptionsfähigkeit der reflectirenden Fläche für diese oder jene Strahlensorte.

605. Innerhalb der Grenze niederer Temperaturen bis zum Siedpuncte des Wassers oder doch nicht viel darüber, hat man das Absorptionsvermögen der Körper ihrem Ausstrahlungsvermögen

gleich gefunden. Oben war z. B. angeführt worden, dass Kienruss, Bleiweiss und Messing einer Wärmequelle von 100° gegenüber, Wärmemengen aufsaugen, die sich wie die Zahlen 100 zu 100 zu 13 verhalten. Dieselben Zahlen drücken aber auch das Ausstrahlungsvermögen dieser Körper aus, wenn man sie bei demselben Grade der Erwärmung vergleicht.

Diese Uebereinstimmung beider entgegengesetzter Vermögen hört aber auf, sobald die Temperatur der Wärmequelle für beide Versuchsreihen beträchtlich verschieden ist; wenn man z. B die Ausstrahlung bei 100° Erwärmung der Körper untersucht, dagegen zur Prüfung des Absorptionsvermögens sie den Strahlen einer Oelflamme aussetzt. Der Grund ist, wie leicht zu sehen, die mit der Temperaturerhöhung zugleich eintretende Veränderung in der Wärmefarbe der Strahlen.

Tafeln

zum

Gebrauche des Physikers und Chemikers.

Tafeln

zum Gebrauche des Physikers und Chemikers.

I. Tafeln zur Vergleichung der gebräuchlichsten Maasse.

1. Grösse verschiedener Längenmaasse.

Bezeichnung des Maasses.	Grösse in		Andere bemerkenswerthe Maasse.
	Millimeter.	Pariser Linien.	
Meter (1)	1000	443,296	
Baden. Fuss Dec. (1)	300	132,989	$10' = 1$ Ruthe; $2' = 1$ Elle; $29629\frac{17}{27}' = 1$ Meile.
Baiern. Fuss Duodec.	291,8592	129,380	$10' = 1$ Rthe; 1 Elle = 833,01 Millimeter.
Belgien. Meter. (s. dieses)	. . .	. . .	1 brab. Elle = 699,2 Millimetr.
Braunschweig. Fuss Duodec.	285,3624	126,500	$16' = 1$ Ruthe; $2' = 1$ Elle; $26000' = 1$ Meile.
Bremen. Fuss Duodec. . . .	289,3507	128,268	$16' = 1$ Rthe; $2' = 1$ Elle.
Dänemark. rheinl. F. Duodec.	313,8535	139,130	$10' = 1$ Rthe; $2' = 1$ Elle; $6' = 1$ Fathen; $24000' = 1$ Meile.
England. Fuss Duodec. (2)	304,7945	135,114	
Frankfurt. Fuss Duodec. . .	284,6000	126,162	$10{,}5' = 1$ Ruthe; 1 Elle = $23{,}0609'' = 547{,}3$ Millimetr.
Frankreich. Meter.			
Alter pariser Fuss Duodec.	324,8394	144,000	
Hamburg. Fuss Duodec. . .	286,4903	127,000	$16' = 1$ Rthe; $2' = 1$ Elle.
Hannover. Fuss Duodec. . .	292,0947	129,484	$16' = 1$ Rthe; $2' = 1$ Elle; $25400' = 1$ Meile. Das Berglachter = 851,25 par. Lin.
Hessen Darmst. Fuss Dec. (1)	250,0000	110,824	$10' = 1$ Klftr.; $24'' = 1$ Elle; 3000 Klftr. = 1 Meile.
Hessen Kassel. Neuer Fuss Duodec. = 11 rheinl. Zoll .	287,6991	127,538	1 Rthe = 3,9887 Meter; 1 Elle = 570,4 Millmetr. $26000' = 1$ Meile.
Lübeck. Fuss Duodec. . . .	291,0000	129,000	$16' = 1$ Rthe; 1 Elle = 255,25 par. Lin.
Nassau. Fuss Duodec. . . .	287,8400	127,598	1 Rthe = 5 Meter; 1 Elle = 555,5 Millimetr.
Niederlande. Meter (Elle) (1)			
Norwegen. rheinl. F. Duodec.			

Bezeichnung des Maasses.	Grösse in		Andere bemerkenswerthe Maasse.
	Millimeter.	Pariser Linien.	
Oestreich. Wiener F. Duodec. (3)	316,1109	140,126	10′ = 1 Rthe; 2,465′ = 1 Elle.
Preussen. rheinl. F. Duodec. (3)	313,8535	139,130	12′ = 1 Rthe; 1 Elle = 25 1/2 Z. = 666,82 Millimetr. 1 Fathen = 6′; 1 Berglachter = 80 Zoll.
Rom. Fuss der alten Römer	295,9	131,14	
Russland. Englischer F. (4)	304,7945	135,114	
Sachsen. Fuss Duodec. . . .	283,1901	125,537	15 1/6′ = 1 Rthe; 2′ = 1 Elle; 1 Berglachter = 2 Metr. 32000′ = 1 Meile.
Sachs.-Weimar. F. Duodec.	281,9787	125,000	16′ = 1 Rthe; 2′ = 1 Elle; 26096′ = 1 Meile.
Schweden. Fuss Duodec. u. Dec.	296,9010	131,615	
Schweiz. Neuer Fuss Dec. wie Baden	300,0000	132,989	16000′ = 1 Wegstunde.
Spanien. Castilianischer F. Duodec.	282,6553	125,300	
Würtemberg. Fuss. Dec. .	286,4903	127,000	10′ = 1 Rthe; 1 Elle = 2,144′ = 614,235 Millimetr.

Anmerkungen. 1) Die eigentliche Grundlage des neuen französischen Maassystems bildet die sogenannte Toise von Peru, deren Länge 6 pariser Fuss beträgt. 443,296 Linien von der Toise bei einer Temperatur von 16°,25 C. abgemessen und auf die Materie des Meters, welche der Temperatur 0° ausgesetzt war, übertragen, gab die wahre Länge des Meters. Die Originaltoise ist auf einer Eisenstange, das Originalmeter auf einer Platinstange aufgetragen. Bei Normalmaassstäben, welche von diesen Originalmaassen abgeleitet sind, muss entweder die Materie derselben beibehalten oder die Temperatur, wobei die Uebertragung (z. B. von Platin auf Messing) stattfand, angemerkt werden, weil sich sonst der Fehler wegen der ungleichen Ausdehnung nicht mehr ganz genau berichtigen lässt.

Das Meter ist ungefähr ein Zehnmilliontel von der Entfernung des Aequators zum Pole.

1 Meter = 10 Decimeter = 100 Centimeter = 1000 Millimeter.
1000 Meter = 1 Kilometer = 10 Hectometer = 100 Decameter.
4000 Meter od. 4 Kilometer = 1 franz. Meile (lieue de poste) = 12745 pr. F.

In Belgien, in den Niederlanden und im lombardisch-venetianischen Königreiche ist das neue französische Maasssystem unverändert angenommen worden.

Das grossherzoglich hessische und badische Maasssystem ist von dem metrischen abgeleitet, in der Weise, dass 12 darmst. Fuss = 10 bad. F. = 3 Meter.

In beiden Staaten zerfällt der Fuss in 10 Zoll oder in 100 Linien.

10 darmst. F. = 1 darmst. Klafter; 10 bad. F. = 1 bad. Ruthe.
24 darmst. Zoll = 20 bad. Zoll = 1 Elle.

In der Schweiz gilt dasselbe Längenmaass wie in Baden.

2) Die Grundlage der englischen Längenmaasse ist das Yard. Das Originalmaass ist von Bird im Jahre 1760 auf einer Messingstange aufgetragen. Es hat seine gesetzlich richtige Länge bei 62° F. = 16°,67 C.

1 Yard = 3 engl. F.; 1 Fuss = 12 Zoll = 144 Linien.
2 Yards = 6 Fuss = 1 Fathom (Faden). 5,5 Yards = 1 engl. Ruthe (rod).
1 engl. Meile = 1760 Yards = 1609,315 Meter = 5307 preuss. Fuss.

Zu unterscheiden hiervon ist die englische und französische Seemeile, wovon 20 auf einen Grad gehen.

Die Unveränderlichkeit des engl. Maasssystems stützt sich gesetzlich auf die Länge des Sekundenpendels, welche in der Breite von London, auf den Meeresspiegel und den luftleeren Raum reducirt 39,1393 engl. Zoll beträgt.

3) In Oestreich ist im Jahre 1816 der wiener Fuss und in Preussen in demselben Jahre der rheinländische Fuss zum Landesmaass gesetzlich erhoben worden. Beide Systeme sind mit dem pariser Fuss genau verglichen worden, und haben ihre richtige Länge bei 16°,25 C.

1 wiener Klafter = 6 wien. Fuss; 102764 wien. Klafter = 100000 par. Tois.
4000 wien. Klafter = 1 östreich. Postmeile = 24174 rheinl. Fuss.
1 preuss. Ruthe = 12 preuss. Fuss.
24000 rheinl. Fuss = 1 preuss. Meile = 7532,4 Meter.
23640 rheinl. Fuss = 7416 Meter = 1 deutsche oder geographische Meile, wovon 15 auf einen Aequatorgrad gehen.

4) Die Grundlage des russischen Längenmaasses ist der dem englischen genau gleiche Fuss, welcher in 12 Zoll, und der Zoll in 10 Linien getheilt ist.
28 russ. Zoll = 1 Arschine (Elle); 7 russ. Fuss = 1 Sashen (Faden); 1500 Arschinen = 500 Sashen = 1 Werst = 3400 rheinl. Fuss.

2. Vergleichung einiger Fussmaasse unter einander und mit dem Metre (Hülsse, Sammlung mathematischer Tafeln.)

Metre.	Pariser Fuss.	England. Russland. Fuss.	Preussen. Dänemark. rheinl. F.	Baiern. Fuss.	Hannover. Fuss.	Sachsen. Fuss.	Braunschweig. Fusss.	Hessen-Kassel. Nassau. F.	Würtemberg. Hamburg. Fuss.	Baden. Schweiz. Fuss.	Oestreich. Wiener Fuss.	Frankfurt. Fuss.	Hessen-Darmstadt. Fuss.
1	3,078444	3,280899	3,186199	3,426310	3,423547	3,531197	3,504316	3,475854	3,490519	3,333333	3,163446	3,514938	4,000000
0,3248394	1	1,065765	1,035003	1,113000	1,112103	1,147072	1,138340	1,129094	1,133858	1,082798	1,027612	1,141390	1,299358
0,3047945	0,9382928	1	0,9711361	1,044320	1,043478	1,076290	1,068096	1,059421	1,063891	1,015982	0,9642010	1,070957	1,219178
0,3138535	0,9661806	1,029722	1	1,075359	1,074492	1,108279	1,099842	1,090909	1,095512	1,046178	0,9928588	1,102788	1,255414
0,2918592	0,8984722	0,9575606	0,9299217	1	0,9991937	1,030612	1,022767	1,014460	1,018740	0,9728640	0,9232809	1,025506	1,167437
0,2920947	0,8991973	0,9583333	0,9306721	1,000807	1	1,031444	1,023592	1,015279	1,019562	0,9736491	0,9240260	1,026334	1,168379
0,2831901	0,8717847	0,9291180	0,9023000	0,9702968	0,9695144	1	0,9923874	0,9843273	0,9884803	0,9439668	0,8958565	0,9950460	1,132760
0,2853624	0,8784722	0,9362453	0,9092216	0,9777400	0,9769516	1,007671	1	0,9918781	0,9960630	0,9512081	0,9027287	1,002679	1,141590
0,2876991	0,8856655	0,9439117	0,9166667	0,9857461	0,9849513	1,015922	1,008188	1	1,004219	0,9589969	0,9101206	1,010890	1,150796
0,2864903	0,8819444	0,9399459	0,9128154	0,9816046	0,9808131	1,011654	1,003953	0,9957986	1	0,9549678	0,9062968	1,006642	1,145961
0,3000000	0,9235332	0,9842697	0,9558598	1,027893	1,027064	1,059359	1,051297	1,042756	1,047156	1	0,9490339	1,054107	1,200000
0,3161109	0,9731299	1,037128	1,007193	1,083094	1,082221	1,116250	1,107753	1,098756	1,103391	1,053703	1	1,110720	1,264400
0,2846000	0,8761252	0,9337440	0,9067924	0,9751274	0,9743447	1,004979	0,9973285	0,9892282	0,9934017	0,9486667	0,9003168	1	1,138400
0,2500000	0,769611	0,8202247	0,7965497	0,8565775	0,8558867	0,8827992	0,8760790	0,8689635	0,8726297	0,8333333	0,7908615	0,8787345	1

3. Vergleichung einiger Quadratfusse unter einander und mit dem Quadrat-Metre.

Q. Metre.	Pariser Q. Fuss.	England. Russland. Q. F.	Preussen. Dänemark. rhein. Q. F.	Baiern. Q. F.	Hannover. Q. F.	Sachsen. Q. F.	Braunschweig. Q. F.	H. Kassel. Nassau. Q. F.	Würtemberg. Hamburg. Q. F.	Baden. Schweiz. Q. F.	Oestreich. Wiener Q. F.	Frankfurt. Q. F.	Hessen-Darmstadt. Q. F.
1	9,476817	10,76430	10,15187	11,73960	11,72067	12,46936	12,28023	12,08156	12,18372	11,11111	10,00739	12,35479	16,00000
0,1055207	1	1,135856	1,071232	1,238770	1,236773	1,315775	1,295818	1,274854	1,285635	1,172452	1,055987	1,302770	1,688330
0,09289969	0,8803934	1	0,9431053	1,090605	1,088847	1,158399	1,140829	1,22373	1,131864	1,032219	0,9296836	1,146950	1,486394
0,09850405	0,9335049	1,060327	1	1,156398	1,154534	1,228282	1,209652	1,190083	1,200146	1,094489	0,9857686	1,216142	1,576064
0,08518180	0,8072523	0,9169223	0,8647543	1	0,9983880	1,062162	1,046052	1,029129	1,037832	0,9464644	0,8524476	1,051661	1,362906
0,08531933	0,8085557	0,9184028	0,8661505	1,001615	1	1,063877	1,047741	1,030791	1,039507	0,9479926	0,8538240	1,053361	1,365108
0,08019661	0,7600086	0,8632602	0,8141453	0,9414759	0,9399582	1	0,9848327	0,9689002	0,9770933	0,8910734	0,8025589	0,9950460	1,283145
0,08143171	0,7717134	0,8765553	0,8266839	0,9559755	0,9544345	1,015401	1	0,9838222	0,9921415	0,9047968	0,8149191	1,005364	1,302907
0,08277076	0,7844034	0,8909692	0,8402778	0,9716954	0,9701290	1,032098	1,016444	1	1,008456	0,9196751	0,8283195	1,021898	1,324331
0,08207671	0,7778260	0,8834982	0,8332319	0,9635475	0,9619943	1,023444	1,007921	0,9916148	1	0,9119635	0,8213738	1,013328	1,313228
0,09000000	0,8529136	0,9687869	0,9136681	1,056564	1,054861	1,122242	1,105221	1,087340	1,096535	1	0,9006653	1,111142	1,440000
0,09992613	0,9469817	1,075635	1,014437	1,173093	1,171202	1,246014	1,227116	1,207264	1,217472	1,110290	1	1,233659	1,598818
0,08099717	0,7675953	0,8718778	0,8222725	0,9506742	0,9493412	1,009962	0,9946634	0,9785720	0,9868470	0,8999684	0,8105706	1	1,295043
0,06250000	0,5923013	0,6727686	0,6344917	0,7337253	0,7325425	0,7793347	0,7675145	0,7550977	0,7614821	0,6944446	0,6254621	0,7721747	1

4. Vergleichung einiger Cubik-Fusse unter einander und mit dem Cubik-Metre.

C. Metre *).	Pariser C. Fuss.	England. Russland. C. F.	Preussen. Dänemark. rheinl. C. F.	Baiern. C. F.	Hannover. C. F.	Sachsen. C. F.	Braunschweig. C. F.	H. Kassel. Nassau. C. F.	Würtemberg. Hamburg. C. F.	Baden. Schweiz. C. F.	Oestreich. Wiener C. F.	Frankfurt. C. F.	Hessen-Darmstadt. C. F.
1	29,17385	35,31658	32,34587	40,22350	40,12627	44,03176	43,03380	41,99374	42,52752	37,03704	31,65785	43,42633	64,00000
0,03427727	1	1,210556	1,108728	1,378752	1,375419	1,509288	1,475081	1,439431	1,457727	1,269529	1,085145	1,488968	2,193745
0,02831531	0,8260668	1	0,9158836	1,138941	1,136188	1,246773	1,218515	1,189066	1,204160	1,048715	0,8964019	1,228335	1,812180
0,03091584	0,9019342	1,091842	1	1,243543	1,240538	1,361279	1,330426	1,298272	1,314774	1,145031	0,9787291	1,341137	1,983175
0,02486109	0,7252938	0,8780087	0,8041537	1	0,9975830	1,094678	1,069867	1,044010	1,057281	0,9207812	0,7870486	1,078486	1,591108
0,02492133	0,7270511	0,8801360	0,8061021	1,002423	1	1,097330	1,072459	1,046540	1,059842	0,9230121	0,7889536	1,081105	1,594963
0,02271088	0,6625639	0,8020706	0,7346033	0,9135110	0,9113031	1	0,9773355	0,9537149	0,9658375	0,8411438	0,7189776	0,9852112	1,453496
0,02323755	0,6779288	0,8206707	0,7516389	0,9346955	0,9324363	1,023190	1	0,9758317	0,9882354	0,8606500	0,7356508	1,008058	1,487202
0,02381307	0,6947190	0,8409962	0,7702546	0,9578450	0,9555299	1,048531	1,024767	1	1,012711	0,8819656	0,7538706	1,033026	1,524035
0,02351418	0,6859993	0,8304405	0,7605868	0,9458227	0,9435366	1,035371	1,011905	0,9874486	1	0,8706957	0,7444084	1,020058	1,504909
0,02700000	0,7876940	0,9535476	0,8733386	1,086034	1,083409	1,188857	1,161913	1,133831	1,148243	1	0,8547619	1,171262	1,728000
0,03158774	0,9215362	1,115571	1,021733	1,270570	1,267499	1,390664	1,359341	1,326488	1,343349	1,169916	1	1,370228	2,021615
0,02306179	0,6725100	0,8141105	0,7456305	0,9272236	0,9249829	1,015011	0,9922322	0,9680310	0,9803352	0,8537700	0,7297703	1	1,473760
0,01562500	0,4558415	0,5518216	0,5054044	0,6284929	0,6269734	0,6879961	0,6724033	0,6561526	0,6644920	0,5787040	0,4946528	0,6785370	1

*) Das C. Metre unter dem Namen Stere bildet die Einheit des französischen Holzmaasses.
0,001 C. M. = 1 C. Decimetr. gilt als Einheit der metrischen Hohlmaasse, und wird Litre genannt.
1 Litre = 1000 C. Centimetr. = 50,412416 par. C. Zoll = 55,894 preuss. C. Z.; 100 Litres = 1 Hectolitre.

5. Grösse verschiedener Feldmaasse.

Bezeichnung des Maasses.	Grösse in Q. Decamet. (Are *).	Andere bemerkenswerthe Maasse.
Baden. Morgen = 400 Q. Ruthen	36,000	1 Q. Ruthe = 9 Q. Metres.
Baiern. Tagewerk = 400 Q. Ruthen . .	34,073	1 Q. R. = 8,518 Q. M.
Belgien, wie Frankreich.		
Braunschweig. Feldmorgen = 120 Q. R.	25,016	1 Q. R. = 20,847 Q. M.
England. Acre = 160 Q. Ruth. (rod) = 4 Viertel (rod of land)	40,467	1 Q. R. = 25,292 Q. M.
Frankfurt. Feldmorgen = 160 Q. Ruth.	20,249	1 Q. R. = 12,656 Q. M.
Frankreich. Hectare = 100 Ares (Q. Dec.)	100,000	1 Q. Decam. = 100 Q. M.
Hannover. Morgen = 120 Q. Ruthen . .	26,210	1 Q. R. = 21,842 Q. M.
Hessen-Darmstadt. Morgen = 4 Viertel = 400 Q. Klafter	25,000	1 Q. Klftr. = 6,250 Q. M.
Hessen-Kassel. Acker = 150 Q. Ruthen	23,865	1 Q. R. = 15,900 Q. M.
Nassau. Morgen = 100 Q. Ruthen . . .	25,000	1 Q. R. = 25,000 Q. M.
Niederlande, wie Frankreich.		
Oestreich. Wiener Joch = 1600 Q. Klft.	57,557	1 Q. Klaft. = 3,597 Q. M.
Preussen. Morgen = 180 Q. Ruthen . . .	25,532	1 Q. R. = 14,185 Q. M.
Sachsen. Acker = 300 Q. Ruthen	55,342	1 Q. R. = 18,447 Q. M.
Schweiz, wie Baden.		
Würtemberg. Morgen = 384 Q. Ruthen .	31,517	1 Q. R. = 8,208 Q. M.

*) Die Are = 100 Quadr. Metres ist die Einheit des jetzigen französischen Feldmaasses.

6. Grösse verschiedener Hohlmaasse.

Bezeichnung des Maasses.	Grösse in Litres.	Andere bemerkenswerthe Maasse.
Baden. Maas = 4 Schoppen = 1/18 C. F.	1,500	100 Maas = 1 Ohm.
Malter	150,000	100 Maas (Meslein) = 10 Sester = 1 Malter.
Baiern. Maaskanne = 0,043 C. F.	1,069	64 Maaskannen = 1 Eimer.
Scheffel	222,358	208 Maaskannen = 6 Metzen = 1 Scheffel.
England. Imper. Gall. = 277,274 C. Z = 4 Quarts = 8 Pints . . .	4,543458	64 Gall. = 8 Bushels = 1 Quart.
1 Pinte (Flüssigkeitsmaass)	0,568	1 Bushel gehäuft (das Kohlenmaas) hält 46,13 Litres.
1 Quarter (Getraidemaass) .	290,781	36 solcher Bush. = 1 Chaldron.
Frankfurt. Aichmaas = 4 Schop.	1,793	80 Maas = 20 Viertel = 1 Ohm.
Malter	114,752	64 Maas oder Gescheid = 16 Sechter = 4 Simmer = 1 Malt.
Frankreich, Belgien, Niederlande. Litre	1,000	100 Litres = 1 Hectolitre, für Flüssigkeiten u. Früchte.
Hamburg. Kanne = 2 Quartier = 4 Oesel	1,805	80 Kannen = 40 Stübchen = 20 Viertel = 4 Anker = 1 Ohm.
Himte (Fruchtmaass) = 4 Spint = 1/2 Fass	26,325	
Hannover. Kanne = 2 Quartier = 4 Nösel	1,947	80 Kannen = 4 Anker = 1 Ohm.
2 K. = 1 Stübchen = 270 C. Z.		8 Kannen = 1 Himten (Fruchtmaass).
Himten (Fruchtmaass) = 1,25 C. F.	31,152	6 Himten = 1 Malter; 8 Malter = 1 Winspel.
Hessen-Darmstadt. Maas = 4 Schoppen = 128 C. Z.	2,000	80 Maas = 4 Viertel = 1 Ohm.
Malter = 8192 C. Z.	128,000	64 Maass od. Gescheid = 16 Kumpf = 4 Simmer = 1 Malt.
Oestreich. Wiener Maas = 4 Seidel = 0,0448 C. F.	1,415	
Wiener Metzen (Fruchtmaass) = 1,9471 C. F.	61,505	
Preussen. Quart = 64 C. Z. . . .	1,145	120 Quart = 4 Anker = 1 Ohm.
Scheffel = 3072 C. Z.	54,962	48 Q. = 16 Metzen = 1 Scheffel. 4 Scheffel = 1 Tonne.
Sachsen. Dresdener Kanne . . .	0,937	72 Kannen = 1 Eimer.
Dresd. Scheffel = 7900 C. Z. .	103,829	1 Scheffel = 4 Quart = 16 Metz. 12 Scheffel = 1 Malter.
Schweden. Kanne = 0,1 C. F. . .	2,617	
Schweiz, wie Baden.		
Würtemberg. Hell-Eichmaas = 78 1/8 C. Z.	1,837	160 Maas = 1 Eimer; 1 Eimer = 16 Imi.
Scheffel = 7537 C. Z.	177,226	1 Scheffel = 4 Simri = 16 Vierling.

II. Tafeln zur Vergleichung der gebräuchlichsten Gewichte.

1. Grösse verschiedener Gewichte.

Bezeichnung des Gewichtes.	Grösse in Grammen.	Andere Gewichte.
Kilogramme (1)	1000	100 Kilogr. = 1 metr. Ctr.
Baiern. Handelspfund = 32 Loth . . .	560	100 Pfd. = 1 Ctr.
Bremen. Handelspfund = 32 Loth . .	498,500	116 Pfd. = 1 Ctr.
Dänemark u. Norwegen. Handelspfd. = 32 Loth	499,309	100 Pfd. = 1 Ctr.
England. Troy-Pfund (3)	373,244	
Avoir du poids, Pfund Handelsgew.	453,595	112 Pfd. = 1 Ctr.
Frankfurt. Pfd. Leichtgew. = 32 Loth	467,914	108 Pfd. = 100 Pfd. Schwergew. = 1 Ctr.
Frankreich. Altes Pfd. (poids de marc)	489,506	
Neues Pfund (livre usuelle) = 16 Unzen (2)	500,000	
Hamburg. Handelspfd. = 32 Loth . .	484,170	112 Pfd. = 1 Ctr.; 14 Pfd. = 1 Liespfund.
Lübeck. Handelspfd. = 32 Loth . . .	484,725	280 Pfd. = 20 Liespfd. = 1 Schiffspfd.
Nassau. Pfund = 32 Loth	470,686	106 Pfd. = 1 Ctr.
Oestreich. Wiener Handelspfd. = 32 L.	560,012	100 Pfd. = 1 Ctr.
Oldenburg. Handelspfd. = 32 Loth . .	480,367	100 Pfd. = 1 Ctr.
Preussen. Handelspfd. = 32 Loth (4)	467,711	110 Pfd. = 1 Ctr.
Altes Kölner Pfund zu 2 Mark . . .	467,626	
Russland. Handelspfd. = 32 Loth . .	409,520	40 Pfd. = 1 Pud.
Schweden. Schal- oder Victualienpfd. = 32 Loth	425,340	120 Pfd. = 1 Ctr. 400 Pfd. = 20 Liespfd. = 1 Schiffspfd.

Anmerkungen: 1) Das Kilogramme ist das Gewicht von 1 Litre Wasser von 4° Temperatur.

1 Kilogramme = 10 Hectogramme = 100 Decagramme = 1000 Gramme.

Das Gramme, das Gewicht von 1 C. C. Wasser, ist wieder in 10 Decigramme = 100 Centigramme = 1000 Milligramme getheilt.

Dieses Gewichtssystem ist auch in den Niederlanden, in Belgien und in der Lombardei gesetzlich eingeführt.

2) Das halbe Kilogramme, oder 500 Gramme, gilt als gesetzliche Gewichtseinheit auch an den Gränzen des deutschen Zollvereins, im Grossherzogthum Hessen, in Sachsen, Baden und der Schweiz. Es ist in 32 Loth = 128 Quentchen getheilt, und 100 dieser Zollpfunde, oder hessischen, oder sächsischen, oder badischen, oder schweizer Pfunde, bilden den Centner.

Da die darmstädter Maas = 2 Litres, so folgt, dass 1 darmstädter Schoppen Wasser = 1 darmstädter Pfund.

1 darmstädter C. F. = 1000 C. Z. = $\frac{1000}{64}$ Litre = $\frac{1000}{32}$ darmstädter Schoppen;

folglich 1 darmstädter C. Z. = $\frac{1}{32}$ Schoppen oder 1 C. Z. Wasser = 1 Loth = 15,625 Gramme.

3) Das Troy-Pfund ist in 12 Unzen (ounze) oder 240 Pfenniggewichte (penny weight) oder 5760 Gran (grains) getheilt.

Die Beziehungen zwischen Maass und Gewicht sind in England gesetzlich so festgestellt, dass 1 engl. K. Z. reines Wasser von 62° F. 250,458 engl. Gran = 16,386 Gramme wiegen soll.

7000 Gran = 1 Pfund avoir du poids. Dieses Handelsgewicht ist in 16 Unzen, und die Unze wieder in 16 Drachmen getheilt.

4) Die Grösse des preussischen Pfundes ist in der Art festgesetzt, dass 1 preuss. K. F. Wasser von 16°,25 C. gerade 66 Pfund wiegen soll.

Dieses Gewicht, oder das demselben fast gleichkommende alte kölnische Pfund, ist gegenwärtig auch im Kurfürstenthum Hessen, in Hannover, Braunschweig, den thüringischen Staaten, Würtemberg und Frankfurt im Handel gebräuchlich.

1 Pfund = 32 Loth = 128 Quentchen = 576 Grän = 7680 Gran.
1 Loth = 4 Quentchen = 18 Grän = 240 Gran = 14,616 Grm.

2) Grösse verschiedener Medicinalgewichte.

Das Apothekergewicht hat überall eine gleiche Eintheilung, nämlich:

Pfund.	Unze.	Drachme.	Scrupel.	Gran.
1	12	96	288	5760
	1	8	24	480
		1	3	60
			1	20

Die absolute Grösse des Apothekerpfundes ist jedoch in verschiedenen Ländern nicht genau dieselbe.

Namen.	Grösse in Grammen.	1 Gramme beträgt in Gran dieser Gewichte
Nürnberger Medicinalgewicht (nach Hauschild)	357,854	16,096
französisches, $^3/_4$ des Handelspfundes	375,000	15,360
englisches Troy-Pfund	373,244	15,431
östreichisches Mdpfd. = $^5/_4$ Hdlspfd.	420,009	13,714
preussisches Mdpfd. = $^5/_4$ Hdlspfd.	350,7836	16,422
Baiern. Mdpfd.	360,000	
Baden. Mdpfd.	357,780	16,099
Hessen-Darmstadt. Mdpfd.	357,854	16,096
Hessen-Kassel. Mdpfd.	357,664	16,104
Frankfurt. Mdpfd.	357,854	16,096
Würtemberg. Mdpfd.	357,647	16,105
Niederlande	375,000	15,360
Dänemark	357,669	16,104
Schweden	356,437	16,160

3. Vergleichung einiger Gewichte unter einander.

Frankreich. Kilogramme.	Sachsen, Baden, Hessen-Darmstadt, Schweiz. Zollpfund.	England. Pfd. avoir du poids.	Preussen, Hannover, Kurhessen, Braunschweig, Weimar, Würtemberg. Pfund.	Baiern. Pfund.	Oestreich. Pfund.	Dänemark, Norwegen. Pfund.	Schweden. Schalpfund.
1	2,000000	2,204597	2,138072	1,785714	1,785675	2,002768	2,351063
0,5000000	1	1,102299	1,069036	0,8928571	0,8928377	1,001384	1,175532
0,4535976	0,9071952	1	0,9698245	0,8099957	0,8099781	0,9084507	1,066437
0,4677110	0,9354220	1,031114	1	0,8351982	0,8351800	0,9367166	1,099618
0,5600000	1,120000	1,234574	1,197321	1	0,9999782	1,121550	1,316595
0,5600122	1,120024	1,234601	1,197347	1,000022	1	1,121574	1,316624
0,4993090	0,9986180	1,100775	1,067559	0,8916232	0,8916038	1	1,173907
0,4253395	0,8506790	0,9377023	0,9094066	0,7595348	0,7595183	0,8518563	1

III. Tafel. Specifische Gewichte.

1. Feste Körper.

Körper.	Specifisches Gewicht.	Körper.	Specifisches Gewicht.
Achat	2,590	Holz, lufttrocknes von	
Alabaster	2,700	Eiche (Sommereiche)	0,650
Anthracit	1,800	Erle	0,538
Asphalt	1,100	Esche	0,670
Basalt	2,014—3,310	Guajak	1,342
Bausteine (Mittelwerth)	2,500	Hainbuche (Weiss-	
Bernstein	1,075	buche)	0,728
Bimsstein	0,914—1,647	Kiefer (pinus silve-	
Braunkohle	1,0—1,4	stris)	0,550
Butter	0,942	Kork	0,240
Campher	0,986	Lerche	0,563
Caoutschouc	0,934	Linde	0,559
Dachschiefer	2,670—3,500	Nussbaum	0,660
Diamant	3,440—3,550	Pappel	0,390
Eis	0,916	Pflaumenbaum	0,872
Elfenbein	1,825	Pockholz	1,263
Erde, lehmicht, festge-		Rosskastanie	0,551
stampft		Rothtanne (pinus pi-	
— frisch	2,060	cea)	0,481
— trocken	1,930	Steineiche (Winter-	
Feuerstein (gemeiner		eiche)	0,707
Kiesel)	2,58—2,63	Saalweide	0,529
Glas, grünes	2,811	Ulme (Rüster)	0,568
— Fensterglas	2,642	Holzkohle	0,280—0,440
— Krystallglas	2,892	Jod	4,948
— Spiegelglas	2,370—2,560	Kalkstein (dichter) . .	2,700
— Flintglas (Mittel) .	3,300	Kreide	1,8
Glimmer	2,654—2,934	Lava	2,800
Granit	2,540—3,063	Lehm, fetter, frisch . .	1,664
Graphit	2,250—2,410	— — — — erhärtet .	1,516
Holz, Holzfaser oder		Marmor	2,7—2,8
eigentliche Holzsub-		Mauerwerk, von Ziegel-	
stanz	1,500	steinen mit Kalkmör-	
Holz, lufttrocknes von		tel, frisch	1,554—1,700
Ahorn	0,645	trocken	1,471—1,593
Apfelbaum	0,734	— von Bruchsteinen,	
Birke	0,738	frisch	2,460
Birnbaum	0,732	trocken	2,400
Buche (Rothbuche) .	0,750	Metalle:	
Buxbaum	0,942	Antimon	6,640
Ceder	0,575	Arsenik	5,672
Ebenholz, grünes . .	1,210	Barium	4,732
— schwarzes	1,187	Blei, gegossen	11,352
Edeltanne (pinus		— gepresst	11,388
abies)	0,555	Chrom	5,900
Eibenbaum (Taxus)	0,744	Eisen, geschmiedet .	7,788

Körper.	Specifisches Gewicht.	Körper.	Specifisches Gewicht.
Metalle:		**Metalle:**	
Eisen-Guss (Roheisen)	7,207	Zinn	7,291
— Stahl, ungehärtet	7,833	**Metall-Legirungen:**	
gehärtet	7,816	Argentan	8,563
Guss-Stahl	7,919	Kanonenmetall	8,441—9,235
Gold, gehämmert	19,362	Messing	7,600—8,500
— gegossen	19,258	Pech, weisses	1,072
Iridium	15,863	Perlen	2,750
Kalium	0,865	Porzellan	2,319
Kobalt	8,513	Phosphor	1,770
Kupfer, gehämmert	8,878	Quarz	2,652
— gegossen	8,788	Sand, gemeiner, trokken	1,640
Molybdän	8,625	Sandstein	2,0—2,7
Natrium	0,972	Selen	4,300
Nickel	8,477	Schwefel	2,072
Osmium	10,000	Schwerspath	4,560
Palladium	12,000	Saphir	3,900
Platin, schmiedbares	21,450	Smaragd	2,68—2,8
Quecksilber bei 0°	13,598	Steinkohle	1,15—1,50
— gefroren	15,612	Steinsalz	2,14—2,41
Rhodium	11,000	Talg	0,942
Silber, gehämmert	10,511	Topas	3,5—3,56
— gegossen	10,477	Wachs, weisses	0,969
Tellur	6,258	Wallrath	0,943
Titan	5,280	Waitzen	1,346
Wismuth	9,822	Ziegel (gebrannter)	1,4—2,2
Wolfram	17,300	Zinnober	8,090
Zink	7,191	Zucker, weisser	1,606

2. Flüssigkeiten.

Namen.	Specifisches Gewicht.	Namen.	Specifisches Gewicht.
Aether (Schwefeläther) bei 12°,5 C.	0,733	Alkohol (Weingeist) bei 15° C. und bei einem Gehalte an absolutem Alkohol, in Volumprocenten:	
Alkohol (Weingeist) bei 15° C. und bei einem Gehalte an absolutem Alkohol, in Volumprocenten:		55	0,9248
		50	0,9348
100	0,7947	45	0,9440
95	0,8168	40	0,9523
90	0,8346	35	0,9595
85	0,8502	10	0,9656
80	0,8645	0 d. h. reines Wasser	1,0000
75	0,8799	Brom	2,99
70	0,8907	Meerwasser	1,027
65	0,9027	Oele: Leinöl	0,940
60	0,9141		

Namen.	Specifisches Gewicht.	Namen.	Specifisches Gewicht.
Oele:		**Salzsäure, flüssige von**	
Mohnöl	0,929	39,675 pCt. Chlorgeh.	1,200
Olivenöl	0,915	35,310 „ „	1,180
Rüböl, gutes	0,914	29,757 „ „	1,152
Quecksilber bei 0° . .	13,598	23,805 „ „	1,120
Salpetersäure bei einem Gehalte an wasserfreier Säure von		17,854 „ „	1,090
		Schwefelsäure, concentrirte	1,850
79,7 Procent	1,500	Wein	0,9—1,05
73,3 „	1,479	Wasser, chemisch rein und bei 16°,25 C. . .	1,000
59,8 „	1,419		
45,4 „	1,332		
30,3 „	1,221		
26,3 „	1,190		

Dichtigkeit und Volumen des Wassers bei verschiedenen Temperaturen zwischen 0° — 100° C.

(Aus Gehler physik. Wörterbuch. Bd. 10. S. 913.)

t	Volum.	Dichtigkeit.	t	Volum.	Dichtigkeit.
0°	1,000000	1,000000	30°	1,004216	0,995802
1	0,999950	1,000050	31	1,004523	0,995498
2	0,999915	1,000080	32	1,004831	0,995193
3	0,999894	1,000106	33	1,005140	0,994887
3,9	0,999882	1,000118	34	1,005449	0,994580
4	0,999888	1,000112	35	1,005761	0,994272
5	0,999897	1,000103	36	1,006106	0,993931
6	0,999919	1,000081	37	1,006452	0,993489
7	0,999956	1,000044	38	1,006799	0,993146
8	0,999996	0,999994	39	1,007147	0,992802
9	1,000069	0,999931	40	1,007496	0,992560
10	1,000145	0,999855	41	1,007898	0,992180
11	1,000235	0,999765	42	1,008207	0,991799
12	1,000338	0,999662	43	1,008610	0,991418
13	1,000453	0,999547	44	1,009021	0,991036
14	1,000581	0,999419	45	1,009434	0,990654
15	1,000720	0,999280	46	1,009859	0,900240
16	1,000872	0,999128	47	1,010285	0,989825
17	1,001035	0,998966	48	1,010712	0,989409
18	1,001210	0,998791	49	1,011139	0,988992
19	1,001397	0,998605	50	1,011570	0,988563
20	1,001594	0,998408	51	1,012033	0,988184
21	1,001802	0,998201	52	1,012497	0,987704
22	1,002022	0,997982	53	1,012962	0,987323
23	1,002251	0,997754	54	1,013438	0,986941
24	1,002491	0,997515	55	1,013894	0,986297
25	1,002741	0,997267	56	1,014382	0,985813
26	1,003001	0,997008	57	1,014891	0,985328
27	1,003271	0,996740	58	1,015392	0,984842
28	1,003549	0,996463	59	1,015894	0,984355
29	1,003837	0,996178	60	1,016398	0,983867

t	Volum.	Dichtigkeit.	t	Volum.	Dichtigkeit.
61°	1,016930	0,983383	81°	1,028728	0,972074
62	1,017464	0,982898	82	1,029385	0,971454
63	1,018000	0,982412	83	1,030043	0,970833
64	1,018538	0,981925	84	1,030702	0,970211
65	1,019078	0,981280	85	1,031364	0,969590
66	1,019644	0,980736	86	1,032047	0,968950
67	1,020212	0,980191	87	1,032731	0,968309
68	1,020780	0,979645	88	1,033416	0,967667
69	1,021350	0,979099	89	1,034102	0,967024
70	1,021920	0,978550	90	1,034791	0,966379
71	1,022531	0,977979	91	1,035500	0,965718
72	1,023143	0,977407	92	1,036210	0,965056
73	1,023756	0,976834	93	1,036921	0,964393
74	1,024370	0,976260	94	1,037633	0,963729
75	1,024986	0,975685	95	1,038346	0,963070
76	1,025603	0,975089	96	1,039078	0,962392
77	1,026221	0,974492	97	1,039811	0,961713
78	1,026840	0,973894	98	1,040545	0,961033
79	1,027459	0,973295	99	1,041280	0,960352
80	1,028072	0,972695	100	1,042016	0,959678

Anmerkung. Das specifische Gewicht eines Körpers bezeichnet zugleich das absolute Gewicht eines Raumtheils seiner Masse, wenn das Gewicht der Raumeinheit des Wassers als Gewichtseinheit angenommen ist. Z. B. ein K. C. Wasser = 1 Grm; 1 Litre Wasser = 1 Kilogrm. Daher ein K. C. Quecksilber wiegt 13,598 Grm., ein Litre Quecksilber wiegt 13,598 Kilogrm.

Wo eine solche einfache Beziehung zwischen Maass und Gewicht nicht stattfindet, muss man, um das Gewicht der kubischen Maasseinheit eines Körpers zu erhalten, sein specif. Gewicht multipliciren mit dem Gewichte der Masseinheit des Wassers. Man hat in dieser Beziehung zu merken, dass

						Preuss. Pfunde.	Kilogramme.
1 badischer	K. F. Wasser	bei	4°	wiegt	54 bad. Pfde. =	57,638	27
1 baierscher	„ „	bei	16°,25	„	44,395 baier. Pfde. =	53,077	24,861
1 darmstädter	„ „	bei	4°	„	31,250 darmst. Pf. =	32,591	15,625
1 englischer	„ „	bei	16°,25	„	75,137 engl. Tr. Pf. =	60,449	28,315
1 hannöv.	„ „	„		„	53,143 hannöv. Pf. =	53,143	24,921
1 kasseler	„ „	„		„	50,840 kasseler Pf. =	50,840	23,813
					Leichtgewicht.		
1 östreichisch.	„ „	„		„	56,377 wiener Pfd. =	67,426	31,588
1 pariser	„ „	„		„	68,554 franz. Pfd. =	73,174	34,277
1 preussischer	„ „	„		„	61,832 franz. Pfd. =	66	30,916
1 sächsischer	„ „	„		„	45,166 sächs. Pfd. =	48,213	22,711
1 würtemberg.	„ „	„		„	50,200 würt. Pfd. =	50,200	23,514

3. Gasförmige Körper und Dämpfe,

auf die Temperatur von 0° und 336,9 pariser Linien Druck reducirt.

Namen.	Specifisches Gewicht.	
	Luft = 1	Wasser = 1000
Arsenik	10,3654	13,4657
Aetherdampf	2,5830	3,3556
Alkoholdampf	1,6010	2,0799
Bromdampf	5,3930	7,0060
Chlor	2,4403	3,1702
Chlorwasserstoff	1,2544	1,6296
Cyan	1,8120	2,3540
Joddampf	8,7011	11,3036
Kohlenstoffgas	0,8364	1,0866
Kohlenoxyd	0,9695	1,2595
Kohlensäure	1,5208	1,9757
Kohlenwasserstoff (oelbildendes Gas)	0,9740	1,2653
Luft	1	1,2991
Phosphordampf	4,3256	5,6194
Quecksilberdampf	6,9785	9,0658
Sauerstoff	1,1026	1,4324
Schwefeldampf	6,6542	8,6445
Schweflige Säure	2,2116	2,8731
Schwefelwasserstoff	1,1778	1,5301
Stickstoff	0,9760	1,2675
Stickstoffoxydul	1,5273	1,9841
Stickstoffoxyd	1,0393	1,3502
Wasserdampf	0,6201	0,80557
Wasserstoff	0,0688	0,08938

Eine ganz vollständige Tabelle über die spec. Gew. der Gase und Dämpfe findet man in Popp. Ann. Bd. 49. S. 424. Spalte V enthält die berechneten Werthe.

IV. Tafel. Ueber die Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

Längenausdehnung fester Körper.

Körper.	Verlängerung von 0° bis 100° C.		*Körper.*	Verlängerung von 0° bis 100° C.	
Blei	0,002848	1/351	Platin	0,000856	1/1167
Eisen, geschmiedet	0,001167	1/856	Sandstein	0,001174	1/852
— Gusseisen	0,001110	1/901	Silber	0,001909	1/524
Glas, weisses	0,000861	1/1161	Stahl, gehärtet	0,001225	1/816
Gold	0,001552	1/645	— weich	0,001079	1/926
Hartloth, 1 Zink und 2 Kupfer	0,002058	1/485	Weichloth, 1 Zinn u. 2 Blei	0,002505	1/399
Holz (Tannenholz) in der Richtung der Fasern	0,000380	1/2631	Zink, gewalzt	0,003331	1/302
			— gegossen	0,002987	1/336
Klempnerloth	0,002505	1/399	Zinkloth, 1 Zinn u. 2 Kupfer	0,002058	1/486
Kupfer	0,001717	1/582	Zinn	0,002173	1/450
Marmor von Carrara	0,000849	1/1178	Ziegeln	0,000500	1/2000
Messing	0,001920	1/521			

Bezeichnet l die Länge eines Körpers bei der Temperatur t°; l′ die Länge desselben Körpes bei t′°; α den Ausdehnungs-Coefficienten des Stoffes für 1° C., nämlich $\frac{1}{100}$ der Verlängerung von 0°—100°, so findet man

$$l' = \frac{l\,(1 + \alpha t')}{1 + \alpha t}$$

Körperliche Ausdehnung des gewöhnlichen weissen Glases der Glasröhren und Thermometer.

	Mittlere Vergrösserung des Volums bei 0,° für 1° Temperatur-Erhöhung.		
	nach Dulong u. Petit.	nach Magnus.	
zwischen 0 — 100°	0,00002584	0,00002618	0,00002535
„ 0 — 200°	0,00002768	0,00003027	0,00002944
„ 0 — 300°	0,00003032	0,00003032	0,00003372

Ausdehnung des Quecksilbers für 1° Temperatur-Erhöhung.

	Wahre Ausdehnung.	Scheinbare Ausdehnung in Glasgefässen.
zwischen 0 — 100°	$\frac{1}{5550} = 0{,}000180180$	$\frac{1}{6480}$
„ 0 — 200°	$\frac{1}{5425} = 0{,}000184331$	$\frac{1}{6375}$
„ 0 — 300°	$\frac{1}{5000} = 0{,}000188679$	$\frac{1}{6218}$

Zur Berechnung der Ausdehnung zwischen — 30° bis 130° kann man sich der Formel bedienen $V' = \frac{5550 + t'}{5550 + t} V$

Wahre Ausdehnung gasförmiger Körper für 1° Temperatur-Erhöhung. (Nach Beobachtungen in Glasgefässen.)

	Unter atmosphärischem Drucke. (Magnus, Regnault.)	Unter einem Drucke von 3,5 Atmosphären. (Regnault.)
Atmosphärische Luft . .	$0{,}003665 = \frac{1}{273}$	0,003694
Wasserstoff	0,003661	0,003662
Kohlenoxydul	0,003669	
Kohlensäure	0,003690	0,003846
Stickstoffoxydul	0,003720	
Cyan	0,003877	
Schweflige Säure	0,003880	

Formel zur Bestimmung des Luftvolums V′ bei der Temperatur t′, wenn das Volum V bei t° gegeben ist:

$$V' = \frac{1 + 0{,}003665\,t'}{1 + 0{,}003665\,t} V = \frac{273 + t'}{273 + t} V.$$

V. Tafel. Specifische Wärme der Körper, bezogen auf die des Wassers zwischen 0—20°.

1. Feste Körper.

Namen.	Specifische Wärme. 0 — 100°	Namen.	Specifische Wärme. 0 — 100°
Bergkrystall	0,1894	Messing	0,0939
Blei	0,0314	Phosphor zwischen 10 — 30°	0,1887
Eis	0,9000	„ „ 0 — 100°	0,2514
Eisen	0,1138	Platin zwischen 0 — 100°	0,03350
Eisenoxyd (Colcothar)		„ „ 0 — 200	0,03392
chemisch rein, pulverförmig	0,1737	„ „ 0 — 300	0,03434
		„ „ 0 — 400	0,03476
durch Glühen zusammengesintert	0,1681	„ „ 0 — 500	0,03518
		„ „ 0 — 600	0,03560
Eisenglanz	0,1667	„ „ 0 — 700	0,03602
Glas	0,1770	„ „ 0 — 800	0,03644
Gold	0,0324	„ „ 0 — 900	0,03686
Gusseisen	0,1298	„ „ 0 — 1000	0,03728
Holz	0,5	„ „ 0 — 1100	0,03770
Kalk, gebrannt	0,2170	„ „ 0 — 1200	0,03812
Kalkspath	0,2046	„ „ 0 — 1300	0,03854
Körniger Marmor	0,2128	„ „ 0 — 1400	0,03896
Kreide	0,2148	„ „ 0 — 1500	0,03938
Kohle:		„ „ 0 — 1600	0,03980
Holzkohle	0,2415	Rose'sches Metall	0,0338
Coak	0,2031	Schwefel	0,2000
Steinkohle	0,2009	Silber 0 — 100°	0,0557
Anthracit	0,2010	„ 0 — 300°	0,0611
Graphit	0,2027	Stahl	0,1185
Diamant	0,1469	Steingut	0,1190
Kupfer, ausgeglüht, geschmeidig	0,0950	Thon, gebrannt	0,1850
„ kalt, gehämmert	0,0935	Zink	0,0956
„ nach dem Hämmern ausgeglüht	0,0950	Zinn	0,0562

2. Flüssige Körper.

Namen.	Specifische Wärme. 0 — 100°	Namen.	Specifische Wärme. 0 — 100°
Olivenöl	0,5040	Schwefelkohlenstoff	0,3290
Quecksilber 0 — 100°	0,0333	Terpenthinöl	0,4259
„ 0 — 300°	0,0350	Wasser 0 — 20°	1
Schwefelsäure, concentrirte	0,3490	„ 0 — 100°	1,0127
Schwefeläther	0,5500		

3. Gasförmige Körper.

Namen.	Specifische Wärme.		
	gleicher Volume.	gleicher Gewichte.	
		Luft = 1.	Wasser = 1.
Atmosphärische Luft . . .	1	1	0,2669
Sauerstoff	1	0,9069	0,2421
Wasserstoff	1	14,5349	3,8793
Stickstoff	1	1,0318	0,2754
Kohlenoxyd	1	1,0267	0,2740
Stickstoffoxydul	1,227	0,8035	0,2145
Kohlensäure	1,249	0,8195	0,2187
Oelbildendes Gas	1,754	1,7898	0,4777
Wasserdampf	1,960	3,1360	0,8370

VI. Tafel. Specifische Wärme der Atome.

Einfache Stoffe.	Specifische Wärme gleicher Gewichte. Wasser = 1000.	Atomgewichte.	Wärmecapacität des Atoms.	Wärmecapacität von 1 At. Schwefel = 1
Schwefel	188	201	37788	1
Selen	83,7	495	41430	1
Tellur	51,6	802	41383	1
Jod	54	790	42660	1
Brom	135	489	66015	½
Phosphor	189	196	37044	1
Arsenik	81	470	38070	1
Kohlenstoff	241	76	18316	½
Platin	33,5	1234	41339	1
Palladium	59	666	39294	1
Iridium (unrein)	36,8	1234	45428	1
Gold	29,8	1243	37042	1
Silber	55,7	1352	75306	2
Quecksilber	33	1266	41778	1
Kupfer	95	396	37620	1
Blei	29,8	1295	37928	1
Zinn	51,4	735	37779	1
Antimon	51	806	41106	1
Wismuth	28,8	887	25546	⅔
Kadmium	57	697	39729	1
Kobalt	107	369	39483	1
Nickel	108	370	39900	1
Eisen	110	339	37290	1
Mangan (kohlenhaltig) . .	144	346	49848	1
Zink	96	403	38688	1
Molybdän	66	599	39534	1
Wolfram	35	1183	41405	1

Verbindungen.	Specifische Wärme gleicher Gewichte. Wasser = 1000.	Atomgewichte.	Wärmecapacität des Atoms.	Wärmecapacität von 1 At. Schwefel = 1.
Metall-Legirungen:				
1 At. Blei + 1 At. Zinn . . .	40,73	2030	82680	2
1 At. Blei + 2 At. Zinn . . .	45,06	2765	124590	3
1 At. Blei + 1 At. Antimon .	38,80	2101	81520	2
1 At. Wismuth + 2 At. Zinn	45,04	2358	126150	3
Oxyde. R. O.				
Bleioxyd	51,18	1394,5	71340	
Quecksilberoxyd	51,79	1365,8	70740	
Manganoxydul	157,01	445,9	70010	
Kupferoxyd	142,01	495,7	70390	
Nickeloxydul	158,85	469,6	74600	
Bittererde	243,94	258,4	63030	
Zinkoxyd	124,80	503,2	62770	
Kalk	217,00	356	77200	
Oxyde. R_2. O_3.				
Eisenoxyd	168	978,4	164440	
Mennige	61,6	2889	177900	
Chromoxyd	179,6	1003,6	180010	
Thonerde (Sapphir) . . .	217,3	642,4	139610	
Arsenige Säure	127,8	1240,1	158560	
Schwefelmetalle. R. S.				
Schwefeleisen	135,7	540,4	73330	
Schwefelnickel	128,1	570,8	73150	
Schwefelkobalt	125,1	570,0	71340	
Schwefelzink	123,0	604,4	74350	
Schwefelblei	50,8	1495,6	76000	
Schwefelzinn	83,7	936,5	78340	
Schwefelquecksilber . . .	51,2	1467,0	75060	
Schwefelarsenik (Realg.)	111,1	671	74550	
Schwefelmetalle. R_2. S_3.				
Schwefelantimon	84,0	2216,4	186210	
Schwefelwismuth	60,0	3264,2	195900	
Schwefelmetalle. R. S_2.				
Schwefeleisen(Eisenkies)	130	741,6	96450	
Schwefelzinn	119,3	1137,7	135660	
Schwefelmolybdän	123,3	1001	123460	
Schwefelmetalle. R_2. S.				
Schwefelkupfer (halb) . .	121,2	992	120210	
Schwefelsilber	74,6	1553	115860	
Haloidsalze. R_2. Cl_2.				
Chlornatrium	214	733,5	156970	
Chlorkalium	173	932,5	161190	
Quecksilberchlorür	52	2971,2	154800	

Verbindungen.	Specifische Wärme gleicher Gewichte. Wasser = 1000.	Atomgewichte.	Wärmecapacität des Atoms.	
Haloidsalze. R_2. Cl_2.				
Kupferchlorür	138,3	1234,0	156830	
Chlorsilber	91,1	1794,1	163420	
Bromkalium	113,2	1468,2	166210	
Bromsilber	73,9	2330,0	173310	
Jodkalium	81,9	2068,2	169380	
Quecksilberjodür	39,5	4109,3	162340	
Haloidsalze. R. Cl_2.				
Chlorbarium	89,6	1299,5	116440	
Chlorcalcium	164,2	698,6	114720	
Chlorblei	66,4	1737,1	115350	
Zinnchlorür	101,6	1177,9	119590	
Chlorzink	136,2	845,8	115210	
Bromblei	53,3	2272,8	121000	
Jodblei	42,7	2872,8	122540	
Fluorcalcium	214,9	489,8	105310	
Schwefelsaure Salze. R. S O_4.				
Schwefelsaurer Baryt . .	112,9	1458,1	164540	
„ Kalk . . .	196,6	857,2	168490	
Schwefelsaure Bittererde	221,6	759,5	168300	
Schwefelsaures Bleioxyd	87,2	1895,7	165390	
Kohlensaure Salze. R. O. C O_2.				
Kalkspath	208,6	631	131610	
Kohlensaurer Baryt . . .	110,4	1231,9	135990	
Kohlensaures Eisenoxydul	193,5	714,2	138160	
Weissbleierz	81,4	1671	136000	

VII. Tafel. Schmelzpunct einiger Körper.

Körper.	Schmelzpunct.	Körper.	Schmelzpunct.
Quecksilber	— 40°,5 C.	Schwefel	111° C.
Brom	— 25°	Zinn	223
Wasser	0	Blei	262
Butter	+ 32	Wismuth	265
Phosphor	+ 42,8	Zink	374
Wachs	61,5	Antimon	513
Kalium	58	Silber, ungefähr	1000
Natrium	90	Gold, ungefähr	1200
Rose'sches Metall, bestehend aus 8 Wismuth, 8 Blei und 3 Zinn . . .	95	Weisses Gusseisen . . .	1050—1100
		Graues Gusseisen	1100—1200
		Stahl	1300—1400
Selen	102	Eisen	1500—1600
Jod	107		

VIII. Tafel. Siedpuncte einiger Körper unter 336,9‴ Druck.

Körper.	Siedpunct.	Körper.	Siedpunct.
Schweflige Säure	— 10°	Terpenthinöl	156°
Aldehyd	+ 21°,8	Jod	176
Blausäure	26,5	Phosphor	288
Schwefeläther	35,66	Schwefel	316
Schwefelkohlenstoff . . .	46,6	Leinöl	316
Brom	47	Schwefelsäure (concentrirte)	325
Alkohol	78,4	Quecksilber	360° des Quecksilberthermomet.
Petroleum	85		
Wasser	100		
Kampfer	104		

IX. Tafel. Kälte erregende Mischungen.

Mischungen.	Die Temperatur sinkt von	bis
1 Theil Wasser mit 1 Theil salpetersaurem Ammoniak	+ 10°	— 15°,5 C.
32 Theile Wasser mit 11 Th. Salmiak, 10 Th. Salpeter und 16 Th. krystallisirtem Glaubersalz	+ 12	— 15
Gleiche Theile verdünnte Schwefelsäure (1 Th. Säure mit 1 Th. Wasser) und Glaubersalz	+ 10	— 8
5 Theile Salzsäure, 8 Th. Glaubersalz	+ 12	— 18
Gleiche Theile Schnee und verdünnte Salpetersäure .	— 18	— 43
Gleiche Theile Schnee und verdünnte Schwefelsäure .	— 7	— 51
8 Theile Schnee mit 10 Th. verdünnter Schwefelsäure	— 50	— 64
1 Theil Schnee mit ⅛ verdünnter Schwefelsäure (aus 4 Theile concentrirter Säure und 1 Th. Wasser gemischt)	0	— 32,5
Gleiche Theile Schnee und Kochsalz	0	— 17,8
Gleiche Theile Schnee und krystallisirter salzsaurer Kalk	0	— 45
1 Theil Schnee mit 2 Th. salzsaurem Kalk	— 17,5	— 55

Anmerkung: Alle Wärmeverhältnisse in den vorstehenden Tabellen beziehen sich auf Grade der hunderttheiligen Scala. Häufig ist es erforderlich, die Grade des Celsius'schen Thermometers in Grade Réaumür oder Fahrenheit auszudrücken, oder umgekehrt die letzteren in erstere zu verwandeln. Hierzu kann man sich der folgenden sechs Reductionsformeln bedienen.

$$1)\ R^\circ = \frac{8\,C^\circ}{10} \quad ; \quad 2)\ C^\circ = \frac{10R}{8}$$

$$3)\ F^\circ = 1{,}8\,C^\circ + 32 \quad ; \quad 4)\ C^\circ = \frac{(F^\circ - 32)\,5}{9}$$

$$5)\ F^\circ = \frac{9R^\circ}{4} + 32 \quad ; \quad 6)\ R^\circ = \frac{(F^\circ - 32)\,4}{9}$$

X. *Tafel. Reduction der Aräometergrade von Beaumé, Cartier und Beck auf specifische Gewichte.*

1. Für Flüssigkeiten schwerer als Wasser.

Grade.	Beaumé.	Beck.	Grade.	Beaumé.	Beck.	Grade.	Beaumé.	Beck.
0	1,000	1,0000	26	1,221	1,1806	52	1,566	1,4407
1	1,007	1,0059	27	1,231	1,1888	53	1,583	1,4530
2	1,014	1,0119	28	1,242	1,1972	54	1,601	1,4655
3	1,022	1,0180	29	1,252	1,2057	55	1,618	1,4783
4	1,029	1,0241	30	1,261	1,2143	56	1,638	1,4912
5	1,036	1,0303	31	1,275	1,2230	57	1,659	1,5044
6	1,044	1,0366	32	1,286	1,2319	58	1,678	1,5179
7	1,052	1,0429	33	1,298	1,2409	59	1,698	1,5315
8	1,060	1,0494	34	1,309	1,2500	60	1,718	1,5454
9	1,067	1,0559	35	1,321	1,2593	61	1,739	1,5596
10	1,075	1,0625	36	1,334	1,2687	62	1,760	1,5741
11	1,083	1,0692	37	1,346	1,2782	63	1,782	1,5888
12	1,091	1,0759	38	1,359	1,2879	64	1,804	1,6038
13	1,100	1,0828	39	1,372	1,2977	65	1,827	1,6190
14	1,106	1,0897	40	1,384	1,3077	66	1,850	1,6346
15	1,116	1,0968	41	1,398	1,3178	67	1,874	1,6505
16	1,125	1,1039	42	1,412	1,3281	68	1,898	1,6667
17	1,134	1,1111	43	1,426	1,3386	69	1,922	1,6832
18	1,143	1,1184	44	1,440	1,3492	70	1,947	1,7000
19	1,152	1,1258	45	1,454	1,3600	71	1,973	1,7172
20	1,162	1,1333	46	1,470	1,3710	72	2,000	1,7347
21	1,171	1,1409	47	1,485	1,3821	73		1,7526
22	1,180	1,1489	48	1,501	1,3934	74		1,7708
23	1,190	1,1565	49	1,516	1,4050	75		1,7895
24	1,199	1,1644	50	1,532	1,4167	76		1,8085
25	1,210	1,1724	51	1,549	1,4286			

2. Für Flüssigkeiten leichter als Wasser.

Grade.	Beaumé.	Cartier.	Beck.	Grade.	Beaumé.	Cartier.	Beck.	Grade.	Beaumé.	Cartier.	Beck.
0	. . .	. . .	1,0000	24	0,909	0,908	0,8762	48	0,787	. . .	0,7800
1	. . .	. . .	0,9941	25	0,903	0,901	0,8717	49	0,782	. . .	0,7763
2	. . .	. . .	0,9883	26	0,898	0,895	0,8673	50	0,778	. . .	0,7727
3	. . .	. . .	0,9826	27	0,892	0,889	0,8629	51	0,773	. . .	0,7692
4	. . .	. . .	0,9770	28	0,886	0,883	0,8585	52	0,769	. . .	0,7658
5	. . .	. . .	0,9714	29	0,881	0,877	0,8542	53	0,765	. . .	0,7623
6	. . .	. . .	0,9659	30	0,875	0,871	0,8500	54	0,760	. . .	0,7589
7	. . .	. . .	0,9604	31	0,870	0,865	0,8457	55	0,756	. . .	0,7556
8	. . .	. . .	0,9550	32	0,864	0,859	0,8415	56	0,752	. . .	0,7522
9	. . .	. . .	0,9497	33	0,859	0,853	0,8374	57	0,748	. . .	0,7489
10	1,000	. . .	0,9444	34	0,854	0,848	0,8333	58	0,744	. . .	0,7456
11	0,993	. . .	0,9392	35	0,849	0,842	0,8292	59	0,739	. . .	0,7423
12	0,986	0,992	0,9340	36	0,844	0,837	0,8252	60	0,735	. . .	0,7391
13	0,979	0,985	0,9289	37	0,838	0,831	0,8212				
14	0,972	0,977	0,9239	38	0,833	0,826	0,8173				
15	0,966	0,970	0,9189	39	0,829	0,821	0,8133				
16	0,959	0,962	0,9139	40	0,824	0,815	0,8095				
17	0,952	0,955	0,9090	41	0,819	0,810	0,8061				
18	0,946	0,948	0,9042	42	0,814	0,805	0,8018				
19	0,940	0,941	0,8994	43	0,809	0,800	0,7981				
20	0,933	0,934	0,8947	44	0,802		0,7944				
21	0,927	0,928	0,8900	45	0,800		0,7907				
22	0,921	0,921	0,8854	46	0,796		0,7871				
23	0,915	0,914	0,8808	47	0,791		0,7834				

XI. Tafel. Zur Alkoholometrie.

No. 1.

Gibt den Alkoholgehalt in Procenten vom Volume einer weingeistigen Flüssigkeit, wenn diese bei 60° Fahrh. = 12°,5 R. = 15°,55 C. das in der zweiten Columne angegebene spec. Gewicht besitzt. Das spec. Gewicht des Wassers ist beim Puncte seiner grössten Dichte zu 10000 vorausgesetzt, wodurch es sich bei 60° F. in 9991 verwandelt.

Alkoholgehalt Volumprocente	Weingeist specif. Gewicht bei 60° F.	Unterschiede.	Alkoholgehalt Volumprocente	Weingeist specif. Gewicht bei 60° F.	Unterschiede.	Alkoholgehalt Volumprocente	Weingeist specif. Gewicht bei 60° F.	Unterschiede.
0	9991	15	34	9596	13	68	8941	24
1	9976	15	35	9583	13	69	8917	24
2	9961	14	36	9570	13	70	8892	25
3	9947	14	37	9556	14	71	8867	25
4	9933	14	38	9541	15	72	8842	25
5	9919	13	39	9526	15	73	8817	25
6	9906	13	40	9510	16	74	8791	26
7	9893	12	41	9494	16	75	8765	26
8	9881	12	42	9478	16	76	8739	26
9	9869	12	43	9461	17	77	8712	27
10	9857	12	44	9444	17	78	8685	27
11	9845	11	45	9427	17	79	8658	27
12	9834	11	46	9409	18	80	8631	27
13	9823	11	47	9391	18	81	8603	28
14	9812	10	48	9373	18	82	8575	28
15	9802	11	49	9354	19	83	8547	28
16	9791	10	50	9335	19	84	8518	29
17	9781	10	51	9315	20	85	8488	30
18	9771	10	52	9295	20	86	8458	30
19	9761	10	53	9275	20	87	8428	30
20	9751	10	54	9254	21	88	8397	31
21	9741	10	55	9234	20	89	8365	32
22	9731	11	56	9213	21	90	8332	33
23	9720	10	57	9192	22	91	8299	33
24	9710	10	58	9170	22	92	8265	34
25	9700	11	59	9148	22	93	8230	35
26	9689	10	60	9126	22	94	8194	36
27	9679	11	61	9104	22	95	8157	37
38	9668	11	62	9082	22	96	8118	39
29	9657	11	63	9059	23	97	8077	41
30	9646	12	64	9036	23	98	8034	43
31	9634	12	65	9013	23	99	7988	46
32	9622	13	66	8989	24	100	7939	49
33	9609	13	67	8965	24			

No. 2.

100 Maas Weingeist, dessen scheinbares spec. Gewicht, durch ein Glasgefäss bestimmt, bei nachstehenden Graden Fahrh. die angegebenen Werthe besitzt, würden auf 60° F. abgekühlt oder erwärmt, an Alkohol von 7939 spec. Gewicht und 60° F. enthalten.

Maase Alkohol.	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°
0	9994	9997	9997	9998	9997	9994	9991	9987	9981	9976	9970	9962
5	9924	9926	9926	9926	9925	9922	9919	9915	9909	9903	9897	9889
10	9868	9869	9868	9867	9865	9861	9857	9852	9845	9839	9831	9823
15	9823	9822	9820	9817	9813	9807	9802	9796	9788	9779	9771	9761
20	9786	9782	9777	9772	9766	9759	9751	9743	9733	9723	9713	9701
25	9752	9745	9737	9729	9720	9709	9700	9690	9678	9666	9653	9640
30	9715	9705	9694	9683	9671	9658	9646	9633	9619	9605	9590	9574
35	9668	9655	9641	9627	9612	9598	9583	9567	9551	9535	9518	9500
40	9609	9594	9577	9560	9544	9527	9510	9463	9474	9456	9438	9419
45	9535	9518	9500	9482	9464	9445	9427	9408	9388	9369	9350	9329
50	9449	9431	9413	9393	9374	9354	9335	9315	9294	9274	9253	9232
55	9354	9335	9316	9295	9275	9254	9234	9213	9192	9171	9150	9128
60	9249	9230	9210	9189	9168	9147	9126	9105	9083	9061	9039	9016
65	9140	9120	9099	9078	9056	9034	9013	8992	8969	8947	8924	8961
70	9021	9001	8980	8958	8936	8913	8892	8870	8847	8825	8801	8778
75	8896	8875	8854	8832	8810	8787	8765	8743	8720	8697	8673	8649
80	8764	8743	8721	8699	8676	8653	8631	8609	8585	8562	8538	8514
85	8623	8601	8579	8556	8533	8510	8488	8465	8441	8418	8394	8370
90	8469	8446	8423	8401	8379	8355	8332	8309	8285	8262	8238	8214

No. 3.

100 Maas Weingeist, dessen scheinbares specifisches Gewicht, durch ein Glasgefäss bestimmt, bei nachstehenden Temperaturen Fahrh. die angegebenen Werthe besitzt, enthalten bei denselben Temperaturen an Alkohol von 7939 spec. Gewicht und 60° F.

Maase Alkohol.	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°
0	9994	9997	9997	9998	9997	9994	9991	9987	9981	9976	9970	9962
5	9924	9926	9926	9926	9925	9922	9919	9915	9909	9903	9897	9889
10	9868	9869	9868	9867	9865	9861	9857	9852	9845	9839	9831	9823
15	9823	9822	9820	9817	9813	9807	9802	9796	9788	9779	9771	9761
20	9786	9782	9777	9772	9766	9759	9751	9743	9733	9722	9711	9700
25	9753	9746	9738	9729	9720	9709	9700	9690	9678	9665	9652	9638
30	9717	9707	9695	9684	9672	9659	9646	9632	9618	9603	9588	9572
35	9671	9658	9644	9629	9614	9599	9583	9566	9549	9532	9514	9495
40	9615	9598	9581	9563	9546	9528	9510	9491	9472	9452	9433	9412
45	9544	9525	9506	9486	9467	9447	9427	9406	9385	9364	9342	9320
50	9460	9440	9420	9399	9378	9356	9335	9313	9290	9267	9244	9221
55	9368	9347	9325	9302	9279	9256	9234	9211	9187	9163	9139	9114
60	9267	9245	9222	9198	9174	9150	9126	9102	9076	9051	9026	9000
65	9162	9138	9113	9088	9063	9038	9013	8988	8962	8936	8909	8882
70	9046	9021	8996	8970	8944	8917	8892	8866	8839	8812	8784	8756
75	8925	8899	8873	8847	8820	8792	8765	8738	8710	8681	8652	8622
80	8798	8771	8744	8716	8688	8659	8631	8602	8573	8544	8514	8483
85	8663	8635	8606	8577	8547	8517	8488	8458	8427	8396	8365	8333
90	8517	8486	8455	8425	8395	8363	8332	8300	8268	8236	8204	8171

M

100 Maas Weingeist, dessen scheinbarer Gehalt in Volumprocenten, aus de
Temperatur abgeleitet, aber in der mit dieser Temperatur überschriebenen Colum
7939 spec. Gewic

wichte bei nachstehenden Graden Réaumür, ohne Berücksichtigung der
en ist, würden auf 12°,5 R. abgekühlt oder erwärmt, an Alkohol von
,5 R. enthalten.

54	50,1	50,6	51,1	51,5	52,0	52,4	52,9	53,3	53,8	9254
55	51,2	51,6	52,1	52,5	53,0	53,4	53,9	54,3	54,8	9[illegible]
56	52,2	52,7	53,1	53,6	54,0	54,5	54,9	55,4	55,8	9413
57	53,3	53,7	54,2	54,6	55,0	55,5	55,9	56,5	56,8	9[illegible]
58	54,3	54,7	55,2	55,6	56,1	56,5	56,9	57,4	57,8	9[illegible]
59	55,3	55,7	56,2	56,6	57,1	57,5	58,0	58,4	58,8	9[illegible]
60	56,3	56,8	57,2	57,6	58,1	58,5	59,0	59,4	59,8	9[illegible]
61	57,4	57,8	58,2	58,6	59,1	59,5	60,0	60,4	60,8	9[illegible]
62	58,4	58,8	59,2	59,7	60,1	60,5	61,0	61,4	61,8	90[illegible]
63	59,4	59,8	60,2	60,7	61,1	61,5	62,0	62,4	62,8	9029
64	60,4	60,8	61,2	61,7	62,1	62,5	63,0	63,4	63,8	9[illegible]
65	61,4	61,8	62,3	62,7	63,1	63,5	64,0	64,4	64,8	90[illegible]
66	62,4	62,9	63,3	63,7	64,2	64,6	65,0	65,4	65,8	89[illegible]
67	63,4	63,9	64,3	64,8	65,2	65,6	66,0	66,4	66,8	89[illegible]
68	64,5	64,9	65,3	65,8	66,2	66,6	67,0	67,4	67,8	89[illegible]
69	65,5	66,0	66,4	66,8	67,2	67,6	68,0	68,4	68,9	89[illegible]
70	66,5	67,0	67,4	67,8	68,2	68,6	69,0	69,4	69,8	8[illegible]
71	67,6	68,0	68,4	68,9	69,2	69,6	70,0	70,4	70,8	8[illegible]
72	68,6	69,0	69,4	69,9	70,2	70,6	71,0	71,4	71,8	8[illegible]
73	69,6	70,0	70,4	70,9	71,2	71,6	72,0	72,4	72,8	8[illegible]
74	70,6	71,0	71,4	71,9	72,2	72,6	73,0	73,4	73,8	87[illegible]
75	71,7	72,1	72,5	72,9	73,3	73,7	74,1	74,4	74,8	8[illegible]
76	72,7	73,1	73,5	73,9	74,3	74,7	75,1	75,5	75,9	8[illegible]
77	73,7	74,1	74,5	74,9	75,3	75,7	76,1	76,5	76,9	8[illegible]
78	74,8	75,2	75,6	75,9	76,3	76,7	77,1	77,5	77,9	8[illegible]
79	75,8	76,2	76,6	76,9	77,3	77,7	78,1	78,5	78,9	8[illegible]
80	76,9	77,2	77,6	78,0	78,3	78,7	79,1	79,5	79,9	8[illegible]
81	77,9	78,3	78,6	79,0	79,4	79,7	80,1	80,5	80,9	8[illegible]
82	78,9	79,3	79,7	80,0	80,4	80,8	81,1	81,5	81,9	8[illegible]
83	80,0	80,3	80,7	81,1	81,4	81,8	82,1	82,5	82,9	8[illegible]
84	81,0	81,4	81,7	82,1	82,5	82,8	83,2	83,5	83,9	8[illegible]
85	82,0	82,4	82,8	83,1	83,5	83,8	84,2	84,5	84,9	8[illegible]
86	83,1	83,5	83,8	84,2	84,5	84,8	85,2	85,5	85,9	8[illegible]
87	84,2	84,5	84,9	85,2	85,5	85,9	86,2	86,5	86,9	8[illegible]
88	85,2	85,6	85,9	86,2	86,6	86,9	87,2	87,5	87,9	8[illegible]
89	86,3	86,6	86,9	87,3	87,6	87,9	88,2	88,5	88,9	8[illegible]
90	87,3	87,6	88,0	88,3	88,6	88,9	89,2	89,5	89,9	83[illegible]

68	60,4	68,2	68,6	69,0	69,4	69,9	70,3	70,7	71,1	68
69	61,4	69,2	69,6	70,0	70,4	70,9	71,3	71,7	72,1	69
70	62,5	70,2	70,6	71,0	71,4	71,9	72,3	72,7	73,1	70
71	63,6	71,2	71,6	72,0	72,4	72,8	73,2	73,6	74,0	71
72	64,7	72,2	72,6	73,0	73,4	73,8	74,2	74,6	75,0	72
73	65,8	73,2	73,6	74,0	74,4	74,8	75,2	75,6	76,0	73
74	66,8	74,2	74,6	75,0	75,4	75,8	[illegible]	76,6	77,0	74
75	68,0	75,2	75,6	76,0	76,4	76,8		77,5	77,9	75
76	69,0	76,2	76,6	77,0	77,3	77,7		78,5	78,9	76
77	70,2	77,2	77,6	77,9	78,3	78,7		79,5	79,9	77
78	71,3	78,2	78,6	78,9	79,3	79,7		80,5	80,9	78
79	72,5	79,2	79,6	79,9	80,3	80,7		81,5	81,9	79
80	73,6	80,2	80,6	80,9	81,3	81,6		82,4	82,8	80
81	74,8	81,2	81,6	81,9	82,3	82,6		83,4	83,8	81
82	75,9	82,2	82,6	82,9	83,3	83,6	84,0	84,4	84,7	82
83	77,1	83,2	83,6	83,9	84,3	84,6	85,0	85,3	85,7	83
84	78,3	84,2	84,6	84,9	85,2	85,6	85,9	86,3	86,7	84
85	79,5	85,2	85,5	85,9	86,2	86,6	86,9	87,3	87,6	85
86	80,7	86,2	86,5	86,9	87,2	87,6	87,9	88,2	88,6	86
87	81,9	87,2	87,5	87,9	88,2	88,6	88,9	89,2	89,5	87
88	83,2	88,2	88,5	88,9	89,2	89,5	89,9	90,2	90,5	88
89	84,4	89,2	89,5	89,8	90,1	90,5	90,8	91,1	91,4	89
90	85,8	90,2	90,5	90,8	91,1	91,4	91,7	92,1	92,4	90

No. 5.

Alkoholometerscale für Volumprocente bei 60° F. oder 12°,5 R.

Alkoholgehalt. Volume.	Länge des einsinkenden Theils v. Halse.	Grösse der Abtheilungen.	Alkoholgehalt. Volume.	Länge des einsinkenden Theils v. Halse.	Grösse der Abtheilungen.	Alkoholgehalt. Volume.	Länge des einsinkenden Theils v. Halse.	Grösse der Abtheilungen.
0	9		34	420	13	68	1184	30
1	24	15	35	434	14	69	1215	31
2	39	15	36	449	15	70	1246	31
3	54	15	37	465	16	71	1278	32
4	68	14	38	481	16	72	1310	32
5	82	14	39	498	17	73	1342	32
6	95	13	40	515	17	74	1375	33
7	108	13	41	533	18	75	1409	34
8	121	13	42	551	18	76	1443	34
9	133	12	43	569	18	77	1478	35
10	145	12	44	588	19	78	1514	36
11	157	12	45	608	20	79	1550	36
12	169	12	46	628	20	80	1587	37
13	180	11	47	648	20	81	1624	37
14	191	11	48	669	21	82	1662	38
15	202	11	49	690	21	83	1701	39
16	213	11	50	712	22	84	1740	39
17	224	11	51	735	23	85	1781	41
18	235	11	52	758	23	86	1823	42
19	245	10	53	782	24	87	1866	43
20	256	10	54	806	24	88	1910	44
21	266	10	55	830	24	89	1955	45
22	277	11	56	854	24	90	2002	47
23	288	11	57	879	25	91	2050	48
24	299	11	58	905	26	92	2099	49
25	310	11	59	931	26	93	2150	51
26	321	11	60	957	26	94	2203	53
27	332	11	61	984	27	95	2259	56
28	344	12	62	1011	27	96	2318	59
29	355	11	63	1039	28	97	2380	62
30	367	12	64	1067	28	98	2447	67
31	380	13	65	1096	29	99	2519	72
32	393	13	66	1125	29	100	2597	78
33	407	14	67	1154	29			

XII. Tafel. Bestimmung des Gehaltes einiger verdünnten Säuren und Alkalien aus ihrem specifischen Gewichte.

No. 1.

100 Gewichtstheile verdünnter Schwefelsäure, deren spec. Gewicht bei 15°,5 C. bestimmt ist, enthalten (nach Ure) an concentrirter und wasserfreier Säure.

Concentrirte Säure.	Spec. Gewicht der verdünnten Säure.	Wasserfreie Säure.	Concentrirte Säure.	Spec. Gewicht der verdünnten Säure.	Wasserfreie Säure.
100	1,8485	81,54	58	1,4660	47,29
99	1,8475	80,72	57	1,4560	46,58
98	1,8460	79,90	56	1,4460	45,66
97	1,8439	79,09	55	1,4360	44,85
96	1,8410	78,28	54	1,4265	44,03
95	1,8376	77,40	53	1,4170	43,22
94	1,8336	76,65	52	1,4073	42,40
93	1,8290	75,83	51	1,3977	41,58
92	1,8233	75,02	50	1,3884	40,77
91	1,8179	74,20	49	1,3788	39,95
90	1,8115	73,39	48	1,3697	39,14
89	1,8043	72,57	47	1,3612	38,32
88	1,7962	71,75	46	1,3530	37,51
87	1,7870	70,94	45	1,3440	36,69
86	1,7774	70,12	44	1,3345	35,88
85	1,7673	69,31	43	1,3255	35,06
84	1,7570	68,49	42	1,3165	34,25
83	1,7465	67,68	41	1,3080	33,43
82	1,7360	66,86	40	1,2999	32,61
81	1,7245	66,05	39	1,2913	31,80
80	1,7120	65,23	38	1,2826	30,98
79	1,6993	64,42	37	1,2740	30,17
78	1,6870	63,60	36	1,2654	29,35
77	1,6750	62,78	35	1,2572	28,54
76	1,6630	61,97	34	1,2490	27,72
75	1,6520	61,15	33	1,2409	26,91
74	1,6415	60,34	32	1,2334	26,09
73	1,6321	59,52	31	1,2260	25,28
72	1,6204	58,71	30	1,2184	24,46
71	1,6090	57,89	29	1,2108	23,65
70	1,5975	57,08	28	1,2032	22,83
69	1,5868	56,26	27	1,1956	22,01
68	1,5760	55,45	26	1,1876	21,20
67	1,5648	54,63	25	1,1792	20,38
66	1,5503	53,82	24	1,1706	19,57
65	1,5390	53,00	23	1,1626	18,75
64	1,5280	52,18	22	1,1549	17,94
63	1,5170	51,37	21	1,1480	17,12
62	1,5066	50,55	20	1,1410	16,31
61	1,4960	49,74	19	1,1330	15,49
60	1,4860	48,62	18	1,1246	14,68
59	1,4060	48,11	17	1,1165	13,86

Concentrirte Säure.	Spec. Gewicht der verdünnten Säure.	Wasserfreie Säure.	Concentrirte Säure.	Spec. Grwicht der verdünnten Säure.	Wasserfreie Säure.
16	1,1090	13,05	8	1,0544	6,52
15	1,1019	12,23	7	1,0477	5,71
14	1,0953	11,41	6	1,0405	4,89
13	1,0887	10,60	5	1,0336	4,08
12	1,0809	9,78	4	1,0268	3,26
11	1,0743	8,97	3	1,0206	2,446
10	1,0682	8,15	2	1,0140	1,63
9	1,0614	7,34	1	1,0074	0,8154

No. 2.

100 Gewichtstheile einer Salpetersäure, welche das in der ersten Columne angegebene spec. Gewicht besitzt, enthalten (nach Ure) an hypothetisch wasserfreier Salpetersäure.

Spec. Gew.	Procente an Säure.	Spec. Gew.	Procente an Säure.	Spec. Gew.	Procente an Säure.
1,5000	79,700	1,4880	75,715	1,4730	71,730
1,4980	78,903	1,4850	74,918	1,4700	70,933
1,4960	78,106	1,4820	74,121	1,4670	70,136
1,4940	77,309	1,4790	73,321	1,4640	69,339
1,4910	76,512	1,4760	72,527	1,4600	68,542
1,4570	67,745	1,3270	44,632	1,1587	22,316
1,1530	66,948	1,3216	43,835	1,1526	21,519
1,4500	66,155	1,3163	43,038	1,1465	20,722
1,4460	65,354	1,3110	42,241	1,1403	19,925
1,4424	64,557	1,3056	41,444	1,1345	19,128
1,4385	63,760	1,3001	40,647	1,1286	18,331
1,4346	62,963	1,2947	39,850	1,1227	17,534
1,4306	62,166	1,2887	39,053	1,1168	16,737
1,4269	61,369	1,2826	38,256	1,1109	15,940
1,4228	60,572	1,2765	37,159	1,1051	15,143
1,1189	59,775	1,2705	36,662	1,0993	14,346
1,4147	58,978	1,2644	35,865	1,0935	13,549
1,4107	58,181	1,2583	35,068	1,0878	12,752
1,4065	57,384	1,2523	34,271	1,0821	11,955
1,4023	56,587	1,2462	33,474	1,0764	11,158
1,3978	55,790	1,2402	32,677	1,0708	10,361
1,3945	54,993	1,2341	31,880	1,0651	9,564
1,3882	54,196	1,2277	31,083	1,0595	8,767
1,3833	53,399	1,2212	30,286	1,0540	7,970
1,3783	52,602	1,2148	29,489	1,0485	7,173
1,3732	51,805	1,2084	28,692	1,0430	6,376
1,3681	51,068	1,2019	27,895	1,0375	5,579
1,3630	50,211	1,1958	27,098	1,0320	4,782
1,3579	49,414	1,1895	26,301	1,0267	3,985
1,3529	48,618	1,1833	25,504	1,0212	3,188
1,3477	47,820	1,1770	24,707	1,0159	2,391
1,3427	47,023	1,1709	23,910	1,0106	1,594
1,3376	46,226	1,1648	23,113	1,0053	0,797
1,3323	45,429				

No. 3.

100 Gewichtstheile einer Salzsäure, welche bei 7°,22 C. das angegebene spec. Gewicht besitzt, enthalten (nach E. Davy) an chlorwasserstoffsaurem Gase.

Spec. Gew.	Chlorwasserstoffsäure in Procent.	Spec. Gew.	Chlorwasserstoffsäure in Procent.
1,21	42,43	1,10	20,20
1,20	40,80	1,09	18,18
1,19	38,38	1,08	16,16
1,18	36,36	1,07	14,14
1,17	34,34	1,06	12,12
1,16	32,32	1,05	10,10
1,15	30,30	1,04	8,08
1,14	28,28	1,03	6,00
1,13	26,26	1,02	4,04
1,12	24,24	1,01	2,02
1,11	22,22		

No. 4.

100 Gewichtstheile Aetzkali-Lauge vom angegebenen spec. Gewichte enthalten (nach Dalton) an wasserfreiem Aetzkali.

Spec. Gew. der Lösung.	Kaligehalt nach p. C.	Spec. Gew. der Lösung.	Kaligehalt nach p. C.
1,68	51,2	1,33	26,3
1,60	46,7	1,28	23,4
1,52	42,9	1,23	19,5
1,47	39,6	1,19	16,2
1,44	36,8	1,15	13,0
1,42	34,4	1,11	9,5
1,39	32,4	1,06	4,7
1,36	29,4		

No. 5.

100 Gewichtstheile Aetznatron-Lauge vom angegebenen spec. Gewichte enthalten (nach Dalton) an wasserfreiem Aetznatron.

Spec. Gew. der Lösung.	Natrongehalt in p. C.	Spec. Gew. der Lösung.	Natrongehalt in p. C.
2,00	77,8	1,40	29,0
1,85	63,6	1,36	26,0
1,72	53,8	1,32	23,0
1,63	46,6	1,29	19,0
1,56	41,2	1,23	16,0
1,50	36,8	1,18	13,0
1,47	34,0	1,12	9,0
1,44	31,0	1,06	4,7

XIII. Tafel. Absorptionsvermögen fester und flüssiger Körper, bei Berührung mit Gasen.

(Nach Beobachtungen von Theodor von Saussure.)

1. Feste Körper, bei 15° Temperatur und unter 0,73 Metre Druck.

Ein Volumen des Körpers, trocken und luftfrei, absorbirt Volumina folgender Gase.	Buchsbaumkohle in ganzen Stücken.	Klebschiefer.	Meerschaum.	Holzasbest.	Hydrophan.	Gyps.	Bergmilch.	Haselholz.	Leinfaden.	Wolle.	Seide.
Ammoniakgas	90	113	15,0	12,75	64,0	...	...	100	68	...	78
Chlorwasserstoffgas	85	...	...	...	17,0	...	...	...	...	...	...
Schwefelig saures Gas	65	...	...	...	7,37	...	...	...	...	...	...
Schwefelwasserstoffgas	55	...	11,7	...	...	...	...	...	...	...	...
Stickstoffoxydulgas	40	...	3,75	...	...	...	...	...	...	...	...
Kohlensaures Gas	35	2,0	5,26	1,7	1,0	0,43	0,87	1,1	0,62	1,7	1,1
Oelbildendes Gas	35	1,5	3,7	1,7	0,8	...	...	0,71	0,48	0,57	0,5
Kohlenoxydgas	9,42	0,55	1,17	0,58	...	...	...	0,58	0,35	0,3	0,3
Sauerstoffgas	9,25	0,7	1,49	0,47	0,6	0,58	0,67	0,47	0,35	0,43	0,44
Stickstoffgas	7,50	0,7	1,6	0,47	0,6	0,53	0,80	0,21	0,33	0,24	0,13
Wasserstoffgas	1,75	0,48	0,44	0,31	0,4	0,50	0,80	0,58	0,36	0,3	0,3

2. Flüssige Körper bei 18° C.

Ein Volumen der Flüssigkeit absorbirt Volumina folgender Gase.	Wasser, luftfrei, chemisch rein.	Alkohol von 0,84 spec. Gewicht, luftfrei.	Steinöl.	Lavendelöl.	Baumöl.	Gesättigte Lösung von Chlorkalium.
Schwefelig saures Gas	43,78	155,77	...	...	...	...
Schwefelwasserstoffgas	2,53	6,06	...	...	...	...
Kohlensaures Gas	1,06	1,97	1,99	1,91	1,51	0,61
Stickstoffoxydulgas	0,76	1,53	2,54	2,75	1,50	0,29
Oelbildendes Gas	0,155	1,27	2,01	2,09	1,22	0,10
Sauerstoffgas	0,065	0,163	...	...	...	...
Kohlenoxydgas	0,062	0,145	0,20	0,156	0,52	0,052
Wasserstoffgas	0,046	0,051	...	...	...	...
Stickstoffgas	0,042	0,042	...	...	...	...

XIV. Tafel. Siedpunct des reinen Wassers bei verschiedenen Barometerständen.

Grad der Siedhitze. C.	Barometerstand. Par. Linien.	Unterschiede.
101°	349,00	6,05
100,5	342,95	6,05
100	336,90	6,05
99,5	330,85	6,05
99	324,80	6,00
98,5	318,80	5,93
98	312,87	5,80
97,5	307,07	5,59
97	301,48	5,26
96,5	296,22	4,88
96	291,34	

XV. Tafel. Grösste Spannkräfte des Wasserdampfs.

a) — 20 bis + 35° C., ausgedrückt in Par. Linien Quecksilberhöhe.

Temperaturen.	Spannkräfte. Par. Linien.	Temperaturen.	Spannkräfte. Par. Linien.	Temperaturen.	Spannkräfte. Par. Linien.
— 20°	0,51	— 7,5	1,32	+ 4,5	3,04
— 19,5	0,53	— 7	1,37	5	3,14
— 19	0,55	— 6,5	1,42	5,5	3,25
— 18,5	0,57	— 6	1,47	6	3,36
— 18	0,59	— 5,5	1,52	6,5	3,47
— 17,5	0,61	— 5	1,58	7	3,59
— 17	0,63	— 4,5	1,64	7,5	3,71
— 16,5	0,65	— 4	1,70	8	3,83
— 16	0,68	— 3,5	1,76	8,5	3,96
— 15,5	0,71	— 3	1,82	9	4,09
— 15	0,74	— 2,5	1,88	9,5	4,23
— 14,5	0,77	— 2	1,95	10	4,37
— 14	0,80	— 1,5	2,02	10,5	4,51
— 13,5	0,83	— 1	2,09	11	4,65
— 13	0,87	— 0,5	2,17	11,5	4,80
— 12,5	0,91	0	2,24	12	4,95
— 12	0,94			12,5	5,11
— 11,5	0,98	+ 0,5	2,32	13	5,27
— 11	1,02	1	2,40	13,5	5,44
— 10,5	1,06	1,5	2,49	14	5,61
— 10	1,10	2	2,57	14,5	5,78
— 9,5	1,14	2,5	2,66	15	5,96
— 9	1,18	3	2,75	15,5	6,14
— 8,5	1,22	3,5	2,85	16	6,33
— 8	1,27	4	2,94	16,5	6,52

Temperaturen.	Spannkräfte. Par. Linien.	Temperaturen.	Spannkräfte. Par. Linien.	Temperaturen.	Spannkräfte. Par. Linien.
+ 17	6,72	+ 23,5	9,91	+ 30	14,36
17,5	6,93	24	10,20	30,5	14,77
18	7,14	24,5	10,50	31	15,19
18,5	7,26	25	10,81	31,5	15,62
19	7,49	25,5	11,12	32	16,06
19,5	7,83	26	11,44	32,5	16,51
20	8,07	26,5	11,77	33	16,97
20,5	8,32	27	12,11	33,5	17,44
21	8,57	27,5	12,46	34	17,92
21,5	8,83	28	12,82	34,5	18,41
22	9,09	28,5	13,19	35	18,91
22,5	9,36	29	13,57		
23	9,63	29,5	13,96		

b) Die Spannkräfte (e) ausgedrückt in Atmosphären von Mtr. 0,760; die Temperaturen (t) in Graden C.

e	t	Unterschiede d. Temp.	e	t	Unterschiede d. Temp.	e	t	Unterschiede d. Temp.
0,05	32,864	14,000	1,75	116,517	0,849	5,75	158,195	1,685
0,10	46,864	8,762	1,80	117,366	1,699	6,00	159,880	1,629
0,15	56,626	5,270	1,90	119,065	1,629	6,25	161,509	1,578
0,20	60,896	4,819	2,00	120,694	1,564	6,50	163,087	1,530
0,25	65,715	4,063	2,10	122,258	2,239	6,75	164,617	1,487
0,30	69,778	3,534	2,25	124,497	2,125	7,00	166,104	1,445
0,35	73,312	3,125	2,40	126,622	1,351	7,25	167,549	1,404
0,40	76,437	2,810	2,50	127,973	1,314	7,50	168,953	1,369
0,45	79,247	2,579	2,60	129,287	1,892	7,75	170,322	1,333
0,50	81,826	2,264	2,75	131,179	1,817	8,00	171,655	1,300
0,55	84,090	2,180	2,90	132,996	1,188	8,25	172,955	1,271
0,60	86,270	2,130	3,00	134,184	1,156	8,50	174,226	1,240
0,65	88,400	1,933	3,10	135,340	1,614	8,75	175,466	1,211
0,70	90,333	1,807	3,25	136,954	1,572	9,00	176,677	1,184
0,75	92,140	1,757	3,40	138,516	1,061	9,25	177,864	1,157
0,80	93,897	1,615	3,50	139,577	1,009	9,50	179,021	1,133
0,85	95,512	1,579	3,60	140,586	1,478	9,75	180,154	1,119
0,90	97,091	1,497	3,75	142,054	1,425	10,00	181,273	1,092
0,95	98,588	1,412	3,90	143,479	0,924	10,25	182,365	1,069
1,00	100,000	2,684	4,00	144,403	0,906	10,50	183,434	1,051
1,10	102,684	2,595	4,10	145,309	1,328	10,75	184,485	1,030
1,20	105,179	1,182	4,25	146,637	1,300	11,10	185,515	1,014
1,25	106,361	1,149	4,40	147,937	0,832	11,25	186,529	0,994
1,30	107,510	2,190	4,50	148,769	2,066	11,50	187,523	0,977
1,40	109,700	2,049	4,75	150,835	1,928	11,75	188,500	0,961
1,50	111,749	1,979	5,00	152,763	1,880	12,00	189,461	0,946
1,60	113,728	1,862	5,25	154,643	1,808	12,25	190,407	0,931
1,70	115,590	0,927	5,50	156,451	1,744	12,50	191,338	0,913
1,75	116,517		5,75	158,195		12,75	192,251	

12,75	192,251	0,902	20,25	214,707	0,625	31,50	238,192	0,878
13,00	193,153	0,887	20,50	215,332	0,619	32,00	239,070	0,864
13,25	194,040	0,874	20,75	215,951	0,612	32,5	239,934	0,854
13,50	194,914	0,861	21,00	216,563	0,607	33,0	240,788	0,845
13,75	195,775	0,848	21,25	217,170	0,600	33,5	241,633	0,833
14,00	196,623	0,837	21,50	217,770	0,595	34,0	242,466	0,824
14,25	197,460	0,826	21,75	218,365	0,591	34,5	243,290	0,815
14,50	198,286	0,814	22,00	218,956	0,584	35,0	244,105	0,805
14,75	199,100	0,802	22,25	219,540	0,579	35,5	244,910	0,796
15,00	199,902	0,791	22,50	220,119	0,576	36,0	245,706	0,789
15,25	200,693	0,783	22,75	220,695	0,568	36,5	246,495	0,777
15,50	201,476	0,773	23,00	221,263	0,564	37,0	247,272	0,773
15,75	202,249	0,762	23,25	221,827	0,561	37,5	248,045	0,761
16,00	203,011	0,754	23,50	222,388	0,554	38,0	248,806	0,755
16,25	203,765	0,743	23,75	222,942	0,550	38,5	249,561	0,748
16,50	204,508	0,734	24,00	223,492	1,087	39,0	250,309	0,743
16,75	205,242	0,726	24,50	224,579	1,070	39,5	251,052	0,727
17,00	205,968	0,718	25,00	225,649	1,053	40,0	251,779	1,441
17,25	206,686	0,709	25,50	226,702	1,034	41,0	253,220	1,415
17,50	207,395	0,700	26,00	227,736	1,021	42,0	254,635	1,385
17,75	208,095	0,695	26,50	228,757	1,007	43,0	256,020	1,362
18,00	208,790	0,686	27,00	229,764	0,988	44,0	257,382	1,338
18,25	209,476	0,677	27,50	230,752	0,975	45,0	258,720	1,312
18,50	210,153	0,672	28,00	231,727	0,961	46,0	260,032	1,290
18,75	210,825	0,664	28,50	232,688	0,950	47,0	261,322	1,279
19,00	211,489	0,656	29,00	233,638	0,934	48,0	262,591	1,246
19,25	212,145	0,652	29,50	234,572	0,924	49,0	263,837	1,227
19,50	212,797	0,641	30,00	235,496	0,909	50,0	265,064	
29,75	213,438	0,638	30,50	236,405	0,900			
10,00	214,076	0,631	31,00	237,305	0,887			
20,25	214,707		31,50	238,192				

Werden die unter e befindlichen Zahlenwerthe mit 1,0337 multiplicirt, so findet man den Druck des Dampfes auf 1 Q. Centimeter Fläche in Kilogrammen. Durch Multiplication derselben Werthe mit 1092,7, den Druck auf 1 Par. Q. F. Fläche ebenfalls in Kilogrammen (196.)

c) Tafel der Spannkräfte des Wasserdampfs, berechnet nach neuen Versuchen von Magnus und nach der Formel

$$e^{mm} = 4{,}525.10^{\frac{7{,}4475\,t}{234{,}69+t}}$$

t	e	t	e	t	e	t	e	t	e
°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm	°C.	mm
—20	0,916	+8	7,964	36	44,268	64	178,397	92	566,147
—19	0,999	9	8,525	37	46,758	65	186,601	93	587,836
—18	1,089	10	9,126	38	49,368	66	195,124	94	610,217
—17	1,186	11	9,751	39	52,193	67	203,975	95	633,305
—16	1,290	12	10,421	40	54,969	68	213,166	96	657,120
—15	1,403	13	11,130	41	57,969	69	222,706	97	681,683
—14	1,525	14	11,882	42	61,109	70	232,606	98	707,000
—13	1,655	15	12,677	43	64,396	71	242,877	99	733,100
—12	1,796	16	13,519	44	67,833	72	253,530	100	760,000
—11	1,947	17	14,409	45	71,427	73	264,577	101	787,718
—10	2,109	18	15,351	46	75,185	74	276,029	102	816,273
— 9	2,284	19	16,345	47	79,111	75	287,898	103	845,683
— 8	2,471	20	17,396	48	83,212	76	300,193	104	875,971
— 7	2,671	21	18,505	49	87,494	77	312,934	105	907,157
— 6	2,886	22	19,675	50	91,965	78	326,127	106	939,260
— 5	3,115	23	20,909	51	96,630	79	339,786	107	972,296
— 4	3,361	24	22,211	52	101,497	80	353,926	108	1006,300
— 3	3,624	25	23,582	53	106,572	81	368,558	109	1041,278
— 2	3,905	26	25,026	54	111,864	82	383,697	110	1077,261
— 1	4,205	27	26,547	55	117,378	83	399,357	111	1114,268
0	4,525	28	28,148	56	123,124	84	415,552	112	1152,321
+ 1	4,867	29	29,832	57	129,109	85	432,295	113	1191,444
+ 2	5,231	30	31,602	58	135,341	86	449,603	114	1231,660
+ 4	5,619	31	33,464	59	141,829	87	467,489	115	1272,986
+ 3	6,032	32	35,419	60	148,579	88	485,970	116	1315,462
+ 5	6,471	33	37,473	61	155,603	89	505,060	117	1359,094
+ 6	6,939	34	39,630	62	162,908	90	524,775	118	1403,915
+ 7	7,436	35	41,893	63	170,502	91	545,133		

XVI. Tafel des Wassergehaltes der atmosphärischen Luft in Milliontheilen des Raumes.

XVII. Tabelle der Brechungsverhältnisse einiger Glasarten und Flüssigkeiten für die den dunklen Linien B bis H im Spectrum entsprechenden Strahlen.

Brechendes Mittel.	Spec. Gew.	B	C	D	E	F	G	H
Flintglas . . .	3,723	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648266	1,660285	1,671062
Crownglas . . .	2,535	1,525832	1,526849	1,529587	1,533005	1,536052	1,541657	1,546566
Wasser	1,000	1,330956	1,331710	1,333577	1,335850	1,337803	1,341277	1,344170
Terpentinöl . .	0,885	1,470496	1,471530	1,474434	1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
Flintglas . . .	3,512	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640373
Flintglas . . .	3,695	1,623570	1,625477	1,630585	1,637356	1,643466	1,655406	1,666072
Crownglas . . .	2,756	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566741	1,573535	1,579470
Gelbes Borsäure-Flintglas . . .	3,417	1,704920	1,707000	1,714390	1,723390	1,731970	1,748590	1,763690

XVIII. Tabelle der Brechungsverhältnisse für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, beim Uebergange aus der Luft in die bezeichneten Mittel.

Brechendes Mittel.	Spec. Gew.	Feste und Flüssige Körper.			Zerstreuungs-Vermögen.
		Brechungsexponenten.	Absolutes Brechungsvermögen.	Specifisches Brechungsvermögen.	
Diamant . . .	3,521	2,487	5,185	1,473	0,038
Schwefel, natürlich vorkommender . . .	2,033	2,115	3,473	1,708	0,130
Saphir, blauer .	4,000	1,794	2,218	0,554	0,026
Topas, gelber . .	3,550	1,638	1,683	0,474	0,025
Bergkrystall . .	2,653	1,562	1,440	0,545	0,026
Steinsalz . . .	2,143	1,557	1,424	0,664	0,053
Zucker	1,606	1,554	1,415	0,943	0,036
Eis	0,916	1,307	0,708	0,775	
Wasser.	1,000	1,336	0,785	0,785	0,035
Crownglas . . .	2,535	1,533	1,350	0,544	0,033
Flintglas . . .	3,723	1,642	1,696	0,799	0,052
Schwefel-Kohlenstoff	1,272	1,643	1,699	1,336	0,048
Terpentinöl . .	0,885	1,476	1,178	1,332	0,042
Aether	0,773	1,358	0,844	1,151	0,037
Alkohol . . .	0,825	1,374	0,885	1,076	0,029
Schwefelsäure .	1,841	1,440	1,074	0,583	0,031

XIX. Tabelle der Brechungsverhältnisse und des absoluten Brechungsvermögens einiger Gase bei 0° und 0,76^{mm} (nach Dulong, Pogg. Ann VI. 413). Uebergang in den leeren Raum.

Namen der Gase.	Brechungsexponent.	Absolutes Brechungs-Vermögen.
Atmosphärische Luft .	1,000294	0,000589
Sauerstoff	1,000272	0,000544
Wasserstoff	1,000138	0,000277
Stickstoff	1,000300	0,000601
Ammoniak	1,000385	0,000771
Kohlensäure	1,000449	0,000899
Chlor	1,000772	0,001545
Chlorwasserstoff . .	1,000449	0,000899
Stickstoffoxydul . .	1,000503	0,001007
Stickstoffoxyd . . .	1,000303	0,000606
Kohlenoxyd	1,000340	0,000681
Cyan	1,000834	0,001668
Oelbildendes Gas . .	1,000678	0,001356
Sumpfgas	1,000443	0,000886
Schwefelige Säure .	1,000665	0,001331
Schwefelwasserstoff .	1,000644	0,001288
Schwefeläther . . .	1,001530	0,003061
Schwefelkohlenstoff .	1,001500	0,003010

Register.

	Seite
A.	
Aberration	555
Abplattung der Erde	84
Absorption der Gase	158
Absorption der Wärme	674
Abweichung, chromatische	586
— — magnetische	195
— — sphärische	587
Achromatismus	578
Achromatische Linse	586
Adhäsion	14
Alkoholometer	100
Ampère'sche Theorie	09
Aräometer	97
Arbeit	56
Astatische Magnetnadel	198
Atherman	667
Atmosphärendruck	122
Atomistische Theorie	8
Aufstossen der Dämpfe	182
Auftrieb	92
Auge	547; 589
Ausdehnung	4
Ausdehnbarkeit durch Wärme	
fester Körper	26
flüssiger Körper	29
gasförmiger Körper	32
Ausdehnsamkeit der Gase	17; 114
Ausdehnungscoefficient	28
Ausfluss des Wassers	137
— der Gase	146
Auslader	231
— Henley's allgemeiner	233
Azimuth	631
B.	
Barometer	118
Batterie, electrische	232
Batterie, Volta'sche	279
Becherapparat	279
Beobachten	3
Beschleunigung	50
Beweglichkeit	6
Bewegung, gleichförmige	47
— — gleichförmig beschleunigte	49
— — krummlinigte	82
Bewegungsmoment	56
Beugung des Lichtes	616
Blitz	252
Blitzableiter	258
Blitzrad	276
Bohnenbergers Electroscop	271
Brechbarkeit des Lichtes	562
— — der Wärmestrahlen	672
Brechung, gewöhnliche	562
— — Erklärung derselben nach der Vibrationstheorie	620
— — Erklärung nach der Emanationstheorie	621
Brechung, doppelte	638
Brechungsexponent	566
Brechungsverhältniss	565
Brechungsgesetze	563
Brechungsvermögen, specifisches	577
Brennglas	673
Brennlinie	559
Brennpunct	559; 583
Brennspiegel	667
C.	
Calorimeter	38
Camera lucida	567; 604
Camera obscura	589

	Seite
Capillarität	106
Centripetalkraft	83
Centrifugalkraft	84
Circularpolarisation	651
Coercitivkraft	193
Cohäsionskraft	14
Collectivglas	603
Combinationston	537
Compensationspendel	74
Complementäre Farben	573
Commutator	391; 430
Condensator, electrischer	234
Conische Refraction	645
Contrastfarben	598
Contakttheorie	279
Constante Batterie	323
Cryophor	185

D.

Dampf	162
Dampfmaschine	177
Dämpfer	425
Decimalwage	81
Deklination	195
Dehnungsquotient	466
Diamagnetismus	451
Diatherman	667
Diathermansie	672
Dichtigkeit	12
Differenzialthermometer	21; 376
Diffusion der Gase	157
Dioptrik	562
Dispersion des Lichtes	571
Drehwage	475
Drehpunct des Auges	590
Duplicator	260
Dynamische Theorie	8

E.

Echo	524
Elasticität	15; 463
Elasticitätsgränze	464
Elasticitätscoefficient	466
Elasticitätsmodulus	466
Elastische Nachwirkung	465
Elastische Schwingungen	472; 479
Electricität	210
— — gebundene	218
— — vertheilte	220
— — durch Reibung	223
— — durch Berührung	259
— — durch ausströmenden Dampf	258
— — thierische	443
Electricität der Pflanzen	449
— — der Luft	257
Electrisches Fluidum	211; 217
Electrische Kette, einfache	267
— — zusammengesetzte	269; 314
— — Galvanische	278
— — Becquerelsche	327
— — beständige	324
Electrische Säule	269
— — trockne	269
— — nasse	273
— — Volta'sche	279
— — Zambonische	279
Electrische Fische	443
Electrischer Muskelstrom	447
Electrische Differenz	265
Electrische Spannung	214
Electrische Spannungsreihe	265
Electrische Theorie	217
Electrischer Strom	281
Electrisirmaschine	218; 225
Electroden	315
Electrolyse, Electrolyt	314
Electrolytisches Gesetz	335
Electrochemische Theorie	280
Electrochemische Polarisirung	318
Electrochemische Zersetzung	313
Electrochemisches Aequivalent	389
Electromagnet	393
Electromagnetismus	286; 379
Electromagnetische Rotation	400
Electromagnetische Telegraphie	405
Electrodynamik	410
Electrodynamometer	416
Electrometer	229; 240
Electromotor	263
Electromotorische Kraft	262
Electrophor	236
Electroscop	215
Electro-Thermometer	374
Emanationstheorie	610
Emissionstheorie	610
Endosmose	113
Erd-Magnetismus	196
Expansionskraft	14
Extracurrent	436

F.

Fallgesetze	49
Fallmaschine	46
Farben - Zerstreuung	571
— - Bild	571
— - Kreisel	573
— - Ringe	634
Fernrohr	605
Festigkeit, absolute	15; 464; 466

Seite

Festigkeit, rückwirkende 15; 470
— — relative 471
— — drehende 474
Feuerspritze 153
Filtriren 112
Flintglas 575
Franklin'sche Tafel 230
Fraunhofers'che Linien . . . 575
Funke, electrischer. 213; 275; 368

G.

Galilei'sches Fernrohr . . . 608
Galvanismus 277
Galvanisches Paar 314
Galvanometer 289
Galvanoplastik 329
Gehörorgan 543
Gesetz 3
Gesichtswinkel 548
Geschwindigkeit 48
Geschwindigkeit des Falls . . 51
— — des ausströmenden Wassers 138
— — der ausströmenden Gase 146
— — der Electricität . . . 284
— — des Lichtes 554
— — des Schalls 518
Gewichtsthermometer 30
Gleichgewicht 45; 65
Gleichschwebende Temperatur . 533
Gravität 75
Grundton 530
Gyrotrop 391

H.

Harmonie 530
Hebel 58
Heber 150
Heliostat 557
Heronsball 117
Höhenmessen mit dem Barometer 134
Hohlspiegel 558
Hörrohr 525
Hydraulischer Druck 145
Hydraulische Presse 154
Hydrostatisches Grundgesetz . 86
Hydrostatische Wage 95
Hygrometer, Hygrometrie . . 186
Hypothese 4

I.

Imponderabilien 9
Inclination 197
Induction 419
Inducirter Nebenstrom . . . 436
Interferenz 492
Interferenz des Lichtes . . . 611
Irradiation 598

K.

Katoptrik 549
Kältemischungen 30
Klangfiguren 517
Körper 4
Kraft 5
Kraft des Menschen 56
— des Pferdes 57

L.

Ladungssäule 320
Lampenmikroscop 601
Lane'sche Flasche 283
Leidenfrost'scher Tropfen . . 182
Leidner Flasche 232
Leitungsvermögen für Wärme . 20
Leiter der Electricität . . . 212
Leitfähigkeit der Metalle . . 281
Leitungswiderstand 342
— — der Metalle 347
— — der Flüssigkeiten . . 350
Lichtbilder 661
Lichtstrahl 545
Loupe 609
Luftdruck 117
Luftelectricität 257
Luftpumpe 125
Luftschiffahrt 132
Luftströmungen 133
Lufthermometer . 33; 127; 354
Luftschwingungen, fortschreitende 503
— — stehende 526
Luftwellen 503

M.

Magnet 192
Magnetnadel 195
Magnetpole 194
Magnet-electrische Maschine . 429
Magnetelectromotor 439
Magnetisches Fluidum . . . 206
Magnetisches Magazin . . . 201
Magnetische Vertheilung . . . 209
Magnetismus, gebundner . . . 203
Magnetismus des Eisens . . . 192
Magnetisches Moment 303
Magnetisiren 208
Magneto-Induction 422
Magnetometer 297; 309
— — mit bifilarer Aufhängung 311
Manometer 125

	Seite
Mariotte'sches Gesetz	123
Maassflasche	283
Masse	12
Materie	5
Metacentrum	94
Metallthermometer	28
Mikrometer	604
Mikroscop, einfaches	600
— — zusammengesetztes	602
Molekularanziehung	14
Monochord	515
Multiplicator, electrischer	289
Musikalisches Intervall	532
Musikalisches Comma	532
N.	
Nachhall	524
Naturerscheinung	3
Naturlehre	3
Naturgesetz	4
Naturkraft	5
Nebenstrom	436
Nikol'sches Prisma	626
O.	
Ohm'sches Gesetz	342
Ohr	543
Optische Linsen	580
Optische Prismen	567
P.	
Parallelogramm der Kräfte	64
Pendel	71; 480
Passivität	321
Phase	481
Phosphorescenz	545
Photometer	551
Photometrie	553
Photographie	661
Piézometer	87
Polarisation der Lichtstrahlen	623
— — Erklärung	629
— — der Wärmestrahlen	673
Polarisirt, geradlinigt	627
— — elliptisch	629
— — kreisförmig	629
Polarisations-Ebene	625
Polarisations-Winkel	625; 630
Porosität	6
Procentenaräometer	99
Psychrometer	188
Pyroelectricität	378
Pyrometer	28
Q.	
Quecksilber-Thermometer	24; 183

	Seite
R.	
Rauminhalt	4
Real'sche Presse	90
Reflexion des Lichtes	549
— — totale	566
Reflexion der Wärmestrahlen	667
Reibungswiderstand	66
Reibungscoefficient	67
Refraction des Lichtes	562
Refraction der Wärmestrahlen	670
Resonanz	540
Reversionspendel	73
Rheostat	334
Rostpendel	74
Rotations-Magnetismus	425
S.	
Sammellinse	581
Saccharimeter	657
Scalenaräometer	97
Schall	510
— - Reflexion	521
— - Beugung	523
— - Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft	518
— — in andern Gasen	529
Schallstrahl	518
Schallwellen	512
Schatten	545
Scheiblers Methode	538
Schiefe Ebene	65
Schmelzwärme	38
Schmelzpunct	22
Schnellwage	82
Schwere	6
Schwerkraft	43
Schwerpunct	60
Schwimmen	94
Schwingungen elastischer Körper	472
— — stehende	479
— — fortschreitende	479
— — longitudinale	473
— — transversale	473
Schwingungsknoten	490
Schwingungspunct	73
Schwingungsweite	71
Segners Rad	91
Sehweite, deutliche	594
Senkwage	96
Sieden	23
Siedpuncte	23; 162
Sirene	513
Sinusbussole	292
Sinusgesetz	481

Seite

Solenoid, electrisches 392
Sonnenmikroscop 601
Specifisches Gewicht 12
— — fester und flüssiger Körper 95
— — der Gase 129
— — der Dämpfe 172
Specifische Wärme 36
— — der Atome 42
— — der Gase . 37; 127; 529
Specifische Elasticität . . . 131
Spannkraft 18
Spannkraft der Dämpfe . . . 164
Spectrum 571
Spiegelbilder 556
Spiegeltelescop 610
Sprachrohr 525
Standfähigkeit 61
Stechheber 151
Stereoscop 599
Stimmorgan 542
Stoss 54
Stoss elastischer Körper . . 476
Strom-Regulator 334

T.

Tangentenboussole 294
Tangentialkraft 83
Temperatur 19
Thaupunct 187
Theilbarkeit 7
Theorie 4
Thermometer 24
Thermoelectricität 369
Thermoelectrische Kette oder Säule 371
Thermomultiplicator 374
Thermoscop 21
Trägheit 5; 43; 48
Trägheitsmoment 69

U.

Umdrehungspendel 73
Undulationstheorie 611
Undurchdringlichkeit 4

Seite

V.

Verdunstung 170; 184
Verdunstungskälte 185
Vibrationstheorie 611
Volta-Electrometer 332
Voltameter 332
Voltagometer 334
Volta-Induction 419
Volumen 4
Volumeter 97

W.

Wage 76
Wärme, freie 40
— — gebundene oder latente 41
— — specifische 36
— — geleitete 20
— — strahlende 662
Wärmecapacität 35
Wärmeeinheit 35
Wärmefarbe 671
Wärmestoff 18
Wärmestrahlung . . . 20; 662
Wasserpumpe 151
Wellenbewegung 470
Wellen des Wassers 455
— — stehende 462
Wellen elastischer Körper . . 470
Wellen durch Biegung gespannter Fäden 482
Wellen durch Verdichtung und Dehnung 492
Wellen in der Luft 503
Wellen, ihr Uebertritt aus einem Mittel in das andere . . . 508
Wellenrinne 457

Z.

Zug in den Oefen 148
Zerstreuungslinsen 586
Zungenpfeifen 536
Zusammendrückbarkeit . . . 6
— — fester Körper . . 468
— — tropfbarer Flüssigkeiten . . 87; 469
— — der Gase . . 121; 168

Im Verlage des Unterzeichneten sind erschienen und durch jede Buchhandlung zu beziehen:

Annalen der Chemie und Pharmacie. Herausgegeben von Friedrich Wöhler, Justus Liebig und Herrmann Kopp. Jahrgang 1832 bis 1852. Jeder Jahrgang kostet Thlr. 7. oder fl. 12. 36 kr.

Bronn, Dr. H. G., gedrängte Anleitung zum Sammeln, Zubereiten und Verpacken von Thieren, Pflanzen und Mineralien für naturhistorische Musees, bearbeitet für reisende und fernländische Sammler. 12. 1838. geh. 10 Ngr. oder 36 kr.

Delffs, Dr. Wilh., stöchiometrischer Commentar zur Pharmacopoea Badensis. 7½ Ngr. oder 27 kr.

Dierbach, J. H., (Professor der Med. an der Universität Heidelberg) Codex medicamentarius Germanorum, oder Versuch einer systematischen Uebersicht der in den jetzt gesetzlich eingeführten Pharmacopöen Deutschlands eingeführten Arzneimittel. 8. 1845. geh. Thlr. 1. 22½ Ngr. oder fl. 3.

Frank, J. C., Rastadt's Flora. 1830. 8. geh. 22½ Ngr. oder fl. 1. 20 kr.

Fresenius, Dr. R. und **Will, Dr. H.,** Neue Verfahrungsweisen zur Prüfung der Pottasche und Soda, der Aschen, der Säuren, insbesondere des Essigs, und des Braunsteins, auf ihren wahren Gehalt und Handelswerth. gr. 8. 1843. geh. 26 Ngr. oder fl. 1. 30 kr.

Geiger, Ph. L., Handbuch der Pharmacie zum Gebrauche bei Vorlesungen und zum Selbstunterrichte für Aerzte, Apotheker und Droguisten. I. Band: Practische Pharmacie und deren Hülfswissenschaften. A. u. d. T.: Handbuch der Chemie mit Rücksicht auf Pharmacie. Fünfte Auflage, neu bearbeitet von Dr. **Just. Liebig.** Mit Kupfertafeln und Holzschnitten. Mit grossherzogl. Badischem Privilegium gegen Nachdruck und Nachdrucksverkauf. gr. 8. 1843. geh. Thlr. 7. 10 Ngr. oder fl. 13. 12 kr.

— — Handbuch der Pharmacie II. Band, enthaltend die pharmaceut. Mineralogie, Botanik und Zoologie. Zweite Auflage, neu bearbeitet von Dr. Th. Fr. L. Nees von Esenbeck, Dr. J. H. Dierbach und Dr. Clamor Marquart. Mit einem Generalregister. gr. 8. 1840. Thlr. 11. 20 Ngr. oder fl. 21.

Daraus einzeln:

I. Abtheilung. A. u. d. T.: Pharmaceutische Mineralogie, zweite Aufl., neu bearbeitet von Dr. Clamor Marquart. Mit 2 lithogr. Tafeln. gr. 8. 1838. geh. Thlr. 2. oder fl. 3. 36 kr.

II. Abtheilung in 2 Hälften. A. u. d. T.: Pharmaceutische Botanik, zweite Auflage, neu bearbeitet von Dr. Th. Fr. L. Nees von Esenbeck und Dr. J. H. Dierbach. gr. 8. 1839—40. geh.
Erste Hälfte Thlr. 5. oder fl. 9.
Zweite Hälfte Thlr. 4. oder fl. 7. 12 kr.

Geiger, Ph. L., Handbuch der Pharmacie. II. Band, zweite Auflage. Ergänzungsheft zur Pharmaceutischen Botanik. gr. 8. 1843. geh. Thlr. 1. 20 Ngr. oder fl. 3.

NB. Das complette Werk, also Band I und II mit Register und Ergänzungsheft kostet Thlr. 20. 20 Ngr. oder fl. 37. 12 kr.

Hofmann, J. P., das chemische Laboratorium der Ludwigs-Universität zu Gießen, nebst einem Vorwort von Dr. Justus Liebig. gr. 8. 1842. geh. Mit 1 Kupferheft in Fol., enthaltend eine äußere und innere Ansicht nebst 6 Blättern erläutender Risse und Detailzeichnungen. Thlr. 3. oder fl. 5. 24 kr.

Liebig, Prof. Dr. Justus, organische Chemie. (Besonderer Abdruck aus Geigers Handbuch der Pharmacie. I. Band. 5. Aufl.) gr. 8. 1843. geh. Thlr. 4. 5 Ngr. oder fl. 7. 30 kr.

— — Bemerkungen über das Verhältniss der Thier-Chemie zur Thier-Physiologie. gr. 8. 1844. geh. 10 Ngr. oder 36 kr.

— — chemische Untersuchung über das Fleisch und seine Zubereitung zum Nahrungsmittel. gr. 8. 1847. geh. 25 Ngr. oder fl. 1. 30 kr.

— — chemische Briefe. Dritte Auflage. 8. 1851. geh. Thlr. 2. 24 Ngr. oder fl. 4. 48 kr.

Märklin, Betrachtungen über die Urformen der niedern Organismen. 8. 1823. geh. 17 Ngr. od. fl. 1.

Mulder, D. J., Professor in Utrecht, Versuch einer allgemeinen physiologischen Chemie. Aus dem Holländischen übersetzt von Dr. **Jac. Moleschott,** Docenten der Physiologie in Heidelberg. 1 — 8. Lieferung. gr. 8. geh. Thlr. 2. 22 Ngr. oder fl. 4. 54 kr.

Pharmacopoea universalis. Inchoavit **Phil. Laur. Geiger,** continuavit et absolvit **Fried. Mohr.** Pars I, II et Index alphabeticus. Lexicon Format. 1835 — 1845. geh. Thlr. 11. 15 Ngr. oder fl. 20. 42 kr.

Pharmacopoea Badensis. roy. 8. 1841. geh. Thlr. 2. 20 Ngr. oder fl. 4. 48 kr.

Posselt, Dr. L., Tabellarische Uebersicht der qualitativen chemischen Analyse. Zum Gebrauche bei den praktischen Arbeiten im Laboratorium. In 3 Tafeln in Umschlag. 1845. 7½ Ngr. oder 27 kr.

— — Die analytische Chemie, tabellarisch dargestellt. Folio. 1846. geh. Thlr. 1. 10 Ngr. oder fl. 2. 20 kr.

Scherer, Dr. u. Prof. J. J. in Würzburg, Chemische und mikroskopische Untersuchungen zur Pathologie, angestellt an den Kliniken des Julius Hospitales zu Würzburg. gr. 8. geh. Thlr. 1. 7½ Ngr. oder fl. 2. 15 kr.

Soubeiran, E., Handbuch der pharmaceutischen Praxis, oder ausführliche Darstellung der pharmaceutischen Operationen; sammt den ausgewähltesten Beispielen ihrer Anwendung, der Zubereitung und Benutzung der Arzneimittel, nebst den besten und verbreitetsten Formeln ihrer Dispensirung. Deutsch bearbeitet von Fr. Schödler, durch handschriftlich mitgetheilte Zusätze und Verbesserungen von Soubeiran vermehrt. 5 Lieferungen oder ein Band in gr. 8. 1839. geh. Thlr. 4. 5 Ngr. oder fl. 7. 30 kr.

Will, Dr. H., Anleitung zur chemischen Analyse, zum Gebrauche im chemischen Laboratorium zu Giessen. Zweite Auflage. gr. 16. geheftet Thlr. 1. 8 Sgr. oder fl. 2. 12 kr.

— — Tafeln zur qualitativen chemischen Analyse. Zweite Auflage. gr. 8. gebunden. 16 Sgr. oder 54 kr.

Academische Verlagshandlung

von

C. F. Winter in Heidelberg.

Pl. 1.

Fig. 1 und 2 in 12 na
Größe.
Fig. 3 und 4 in 4 na
licher Größe

Fig. 3.

Acme
Bookbinding Co., Inc.
100 Cambridge St.
Charlestown, MA 02129

[redacted]

[redacted]